

PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA MEDICIÓN DE  
VARIABLES AMBIENTALES APLICANDO TÉCNICAS DE DISEÑO  
EXPERIMENTAL Y EL USO DE LA PLATAFORMA EMBEBIDA ARDUINO

NANCY ELCIRA CARBONELL POLO

DANIEL EDUARDO DE LA ROSA MORRÓN

UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILLA  
2013

PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA MEDICIÓN DE  
VARIABLES AMBIENTALES APLICANDO TÉCNICAS DE DISEÑO  
EXPERIMENTAL Y EL USO DE LA PLATAFORMA EMBEBIDA ARDUINO

“PROYECTO OPEN FORECAST”

NANCY ELCIRA CARBONELL POLO

DANIEL EDUARDO DE LA ROSA MORRÓN

Trabajo de Grado para optar por el título de  
Ingeniero Industrial e Ingeniero Electrónica

Directores:

Ingeniero Heriberto Felizzola Jiménez

Ingeniero Gabriel Piñeres Espitia

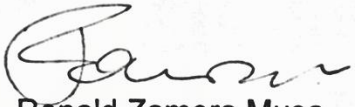
UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BARRANQUILLA  
2013

## Nota de aceptación

Se certifica que este trabajo de grado ha sido aprobado teniendo en cuenta el proceso general, contenido, aporte y metodología, presentando alternativas viables de solución, mostrando capacidad crítica y dominio del tema;

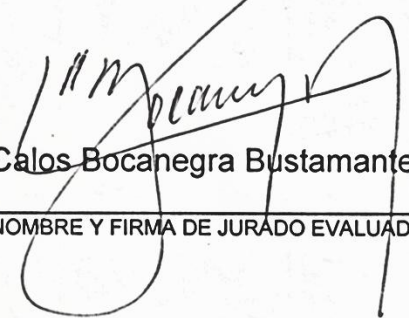
Obteniendo la calificación: **4.55 - Meritoria**



Ronald Zamora Musa

---

NOMBRE Y FIRMA DE JURADO EVALUADOR 1



Carlos Bocanegra Bustamante

---

NOMBRE Y FIRMA DE JURADO EVALUADOR 2

Barranquilla 14 Agosto, 2013

## APROBACIÓN DE PROYECTO POR PARTE DE JURADOS Y EVALUADOR

FECHA: 14 DE Agosto de 2013

Señor:

**DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

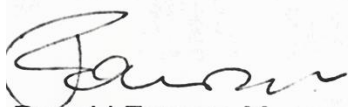
Barranquilla

Los abajo firmantes jurados evaluadores del trabajo de grado titulado:  
**PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEREOLÓGIA PARA LA MEDICIÓN DE  
VARIABLES AMBIENTALES APLICANDO TÉCNICAS DE DISEÑO  
EXPERIMENTAL Y EL USO DE LA PLATAFORMA EMBEBIDA ARDUINO.**

Se certifica que este ha sido evaluado teniendo en cuenta el proceso general,  
contenido, aporte y metodología, presentando alternativas viables de solución,  
mostrando capacidad crítica y dominio del tema;

Obteniendo la calificación: **4.55 - Meritoria**

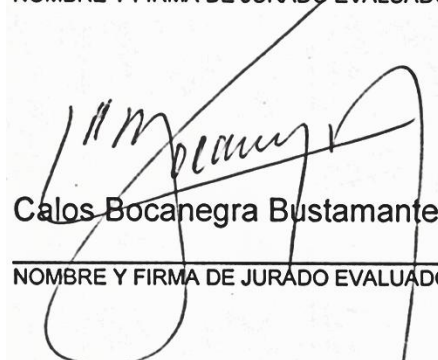
Atentamente



Ronald Zamora Musa

---

NOMBRE Y FIRMA DE JURADO EVALUADOR 1



Carlos Bocanegra Bustamante

---

NOMBRE Y FIRMA DE JURADO EVALUADOR 2

## APROBACIÓN DE PROYECTO POR PARTE DE JURADOS Y EVALUADOR

FECHA: 14 DE Agosto de 2013

Señor:

**DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

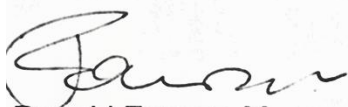
Barranquilla

Los abajo firmantes jurados evaluadores del trabajo de grado titulado:  
**PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEREOLÓGIA PARA LA MEDICIÓN DE  
VARIABLES AMBIENTALES APLICANDO TÉCNICAS DE DISEÑO  
EXPERIMENTAL Y EL USO DE LA PLATAFORMA EMBEBIDA ARDUINO.**

Se certifica que este ha sido evaluado teniendo en cuenta el proceso general, contenido, aporte y metodología, presentando alternativas viables de solución, mostrando capacidad crítica y dominio del tema;

Obteniendo la calificación: **4.55 - Meritoria**

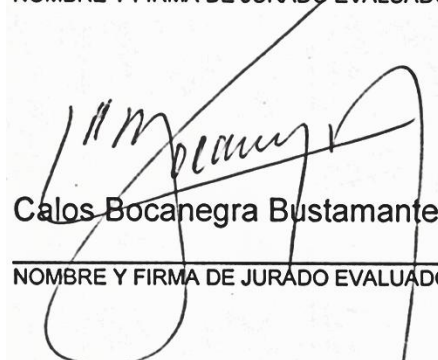
Atentamente



Ronald Zamora Musa

---

NOMBRE Y FIRMA DE JURADO EVALUADOR 1



Carlos Bocanegra Bustamante

---

NOMBRE Y FIRMA DE JURADO EVALUADOR 2

## DEDICATORIA

A Dios por protegerme, guiarme y darme fortaleza en la lucha de mis sueños.  
A mis padres Osiris y Fernando, a mi abuelita Nancy, a mis hermanos por ser el  
motor de mi vida.

A Daniel De la rosa por creer en mí.  
A mis amigas Nelcy y Kathe por apoyarme incondicionalmente.

***Nancy Carbonell***

A Dios y mis padres...

***Daniel De la rosa***

*Encomienda a Dios tu camino,  
y confía en él; y él hará.  
Salmos 37: 5*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que de alguna manera u otra colaboraron en el desarrollo de este proyecto de grado.

A nuestro director de proyecto el Ingeniero Gabriel Piñeres Espitia por su apoyo y por todas las ayudas brindadas.

Al profesor Heriberto Felizzola por todos los aportes y enseñanzas que nos brindó.

A Ángel Mejía por acompañarnos en las tomas de muestra y por toda la colaboración brindada durante toda la realización del proyecto de grado

Al programa de Ingeniería ambiental por facilitarnos la estación meteorológica guía.

A Ana Cecilia Pérez por facilitarme el instrumento patrón para la calibración del prototipo.

***Nancy Carbonell***

A nuestro director de proyecto el Ingeniero Gabriel Piñeres Espitia, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de este proyecto de grado, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

Al Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Costa, CUC, por permitirme el uso de sus laboratorios, equipos e instalaciones.

A todos mis profesores de ingeniería electrónica que me enseñaron tanto de la profesión como de la vida, impulsándome siempre a seguir adelante.

***Daniel De la rosa***

## RESUMEN

El proyecto *prototipo de estación meteorológica para la medición de variables ambientales aplicando técnicas de diseño experimental y el uso de la plataforma embebida Arduino, Open Forecast*, es un sistema cuya finalidad es supervisar las alteraciones climáticas de las principales variables ambientales, específicamente temperatura, humedad y presión atmosférica, gracias a la implementación de completos análisis estadísticos sobre diseño de experimentos, aprovechando las ventajas intrínsecas de las filosofías de software y hardware libre.

El objetivo de este proyecto es el análisis, diseño y elaboración de un dispositivo electrónico de estación meteorológica que permita recoger las señales de los sensores y transductores para efectuar la medición de las variables ambientales.

**Palabras clave:** Estación meteorológica, Arduino, Software Libre, Hardware libre, Diseño de experimentos.



## SUMMARY

The project *prototype weather station for measuring environmental variables using experimental design techniques and the use of the Arduino embedded platform*, Open Forecast, is a system designed to monitor climate changes of the main environmental variables, specifically temperature, humidity and atmospheric pressure, through the implementation of comprehensive statistical analysis on design of experiments, using the intrinsic advantages of the philosophies of libre software and hardware.

The objective of this project is the analysis, design and development of an electronic device of weather station in order to collect the signals from sensors and transducers for the measurement of environmental variables.

**Keywords:** Weather station, Arduino, Software Libre, Hardware libre, Design of experiments.

## CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	13
LISTA DE FIGURAS .....	14
LISTA DE ANEXOS .....	17
INTRODUCCIÓN .....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
2. JUSTIFICACIÓN .....	23
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	26
4. OBJETIVOS .....	27
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	27
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
5. LICENCIAS DEL PROYECTO .....	28
5.1 USO COMERCIAL DEL PROYECTO .....	28
5.2 DESCARGA .....	28
6. MARCO DE REFERENCIA .....	29
6.1 MARCO DE ANTECEDENTES .....	29
6.2 MARCO TEÓRICO.....	32
6.2.1 Software Libre .....	32
6.2.2 Código Abierto (Open Source) .....	33
6.2.3 Hardware Libre .....	34
6.2.4 Hardware Abierto (Open Hardware) .....	35
6.2.5 Sistemas embebidos .....	36
6.2.6 Plataformas de desarrollo electrónico .....	36
6.2.6.1 Descripción de las plataformas de desarrollo electrónico .....	37

6.2.7 Sistemas de monitorización ambiental .....	48
6.2.8 Clima, meteorología y climatología.....	48
6.2.8.1 Escala espacial de los climas.....	48
6.2.9 Estación Meteorológica .....	49
6.2.10 Estación Meteorológica Vantage Pro2 .....	51
6.2.11 Comunicación entre la plataforma de desarrollo y el sistema de visualización en el ordenador.....	54
6.2.11.1 Estándar USB (Bus Serie Universal).....	54
6.2.11.2 Comunicación Serial .....	59
6.2.12 Sensores .....	61
6.2.12.1 Sensores de Temperatura .....	61
6.2.12.2 Sensores de Humedad .....	64
6.2.12.3 Sensores Barométricos .....	67
6.2.13 Técnicas estadísticas .....	71
6.2.14 Estudios de repetibilidad y reproducibilidad r&R .....	73
6.2.14.1 Repetibilidad de mediciones (r).....	73
6.2.14.2 Reproducibilidad de mediciones (R) .....	74
6.2.14.3 Aplicaciones en Metrología .....	76
6.2.14.4 Métodos para la determinación de r&R.....	76
6.2.15 Herramientas Especializadas de Análisis de Datos .....	79
6.2.15.1 SPSS .....	79
6.2.15.2 PSPP .....	80
6.2.15.3 MINITAB .....	82

6.2.15.4 STATGRAPHICS .....	83
6.2.15.5 EXCEL .....	84
7. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	86
7.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE HARDWARE LIBRE .....	86
8. DELIMITACIONES .....	91
8.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	91
8.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	91
9. RESULTADOS .....	95
9.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	95
9.1.1 Evaluación de las plataformas de desarrollo para el análisis y adquisición de datos de las variables ambientales .....	95
9.1.2 Selección de los factores ambientales para disponer en la plataforma de desarrollo seleccionada .....	96
9.1.3 Evaluación y selección de los sensores para su implementación en la plataforma de desarrollo seleccionada .....	96
9.1.4 Calibración de los sensores seleccionados para su implementación en la plataforma Open Forecast .....	116
10. CONCLUSIONES.....	125
GLOSARIO .....	127
BIBLIOGRAFÍA .....	128
ANEXOS.....	132

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales componentes del Arduino Uno .....	39
Tabla 2. Principales componentes del Arduino Mega 2560 .....	41
Tabla 3. Principales componentes del ChipKIT Uno32.....	45
Tabla 4. Principales componentes del ChipKIT Max32.....	46
Tabla 5. Comparativa plataformas de desarrollo electrónico .....	47
Tabla 6. Altitud vs. Presión atmosférica .....	67
Tabla 7. Coste de licencias anuales por número de usuarios.....	82
Tabla 8. Fases-Actividades Investigación .....	88
Tabla 9. Cronograma de actividades .....	92
Tabla 10. Descripción del diseño de experimentos 2k factorial .....	97
Tabla 11. Orden de corridas elaboradas con la herramienta Minitab.....	97
Tabla 13. Muestras de Humedad de la plataforma Open Forecast.....	103
Tabla 14. Muestras de Temperatura Out de la Estación Vantage Pro2.....	104
Tabla 15. Muestras de Humedad Out de la Estación Vantage Pro2.....	104
Tabla 16. Variables de respuestas ajustadas sensores de temperatura.....	105
Tabla 17. Variables de respuestas ajustadas sensores de humedad .....	109
Tabla 18. Medidas del instrumento patrón, contra la plataforma Open Forecast.	116
Tabla 19. Hoja de trabajo del estudio r&R del sensor TMP36 .....	117
Tabla 20. Hoja de trabajo del estudio r&R del sensor RHT03 .....	121

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Frontal y reverso de la placa Arduino Uno.....	38
Figura 2. Elementos de la placa Arduino Uno.....	38
Figura 3. Frontal placa Arduino Mega 2560 .....	40
Figura 4. Reverso placa Arduino Mega 2560.....	40
Figura 5. Frontal placa Netduino.....	42
Figura 6. Elementos de la placa Netduino .....	42
Figura 7. Frontal placa Netduino Plus.....	43
Figura 8. Elementos de la placa Netduino Plus .....	44
Figura 9. Frontal placa ChipKIT Uno32.....	45
Figura 10. Frontal placa ChipKIT Max32 .....	46
Figura 11. Estación meteorológica Principal.....	50
Figura 12. Panel de visualización de instrumentos de la estación Vantage Pro2 ..	52
Figura 13. Descripción del panel de visualización de la estación Vantage Pro2 ...	53
Figura 14. Instrumentos de la estación Vantage Pro2 .....	54
Figura 15. Topología de una conexión USB .....	55
Figura 16. Logo oficial Universal Serial Bus High Speed (USB 3.0) .....	56
Figura 17. Ilustración sección transversal Cable USB 3.0 .....	56
Figura 18. Sección del cable USB .....	57
Figura 19. Diagrama de estados del periférico .....	59
Figura 20. Comunicación asincrónica .....	60

Figura 21. Sensor Temperatura TMP36 .....	61
Figura 22. Voltaje de salida vs Temperatura - Sensor TMP36 .....	62
Figura 23. Sensor Temperatura MCP9700 .....	63
Figura 24. Voltaje de salida vs Temperatura - Sensor MCP9700 .....	63
Figura 25. Sensor Humedad/ Temperatura RTH03 (DHT22) .....	65
Figura 26. Sensor Humedad HIH-4030.....	65
Figura 28. Gráfica Altura (km) vs Presión (mb).....	68
Figura 29. Sensor Barométrico BMP085 .....	69
Figura 30. Altitud vs Presión Barométrica - Sensor BMP085.....	69
Figura 31. Sensor Barométrico MPL115A1 .....	70
Figura 32. Trazado de curvatura de repetibilidad.....	73
Figura 33. Trazado de curvatura de reproducibilidad.....	74
Figura 34. Fuentes de la Variación del Proceso .....	75
Figura 35. Esquema de contenidos ANOVA.....	78
Figura 36. Logo oficial de SPSS. ....	79
Figura 37. Interfaz de SPSS 19, sobre el SO Windows 7 .....	80
Figura 38. Logo oficial del proyecto PSPP .....	81
Figura 39. Interfaz del proyecto PSPP, sobre el SO GNU/Linux .....	81
Figura 40. Logo oficial del software MINITAB.....	82
Figura 41. Interfaz de MINITAB v16, sobre el SO Windows 7 .....	83
Figura 42. Logo oficial del software STATGRAPHICS.....	84
Figura 43. Interfaz de STATGRAPHICS Centurion, sobre el SO Windows 7 .....	84
Figura 44. Logo oficial del software EXCEL.....	85

Figura 45. Interfaz de EXCEL 2013, sobre el SO Windows 7 .....	85
Figura 46. Descripción procesos metodología de desarrollo de hardware libre.....	87
Figura 47. Diagrama del programa Ingeniería Electrónica de la Universidad de la Costa, CUC.....	90
Tabla 12. Tabla 13. Muestras de Temperatura de la plataforma Open Forecast.	102
Figura 48. Gráfica de residuos para los sensores de temperatura. ....	106
Figura 49. Gráfica de valores individuales para los sensores de temperatura.....	107
Figura 50. Gráfica de caja para los sensores de temperatura .....	108
Figura 51. Gráfica de residuos para los sensores de humedad.....	109
Figura 52. Gráfica de valores individuales para los sensores de humedad. ....	111
Figura 53. Gráfica de caja para los sensores de humedad.....	112
Figura 54. Gráfica Sensores Temperatura - Estación.....	114
Figura 55. Gráfica Sensores Humedad - Estación.....	115
Figura 56. r&R del sistema de medición para las variables de temperatura .....	120
Figura 57. r&R del sistema de medición para las variables de humedad .....	124



## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Diagramas de Pines Plataforma Arduino .....	133
ANEXO B. Pantallazo sitio web diseñado para el proyecto. ....	134
ANEXO C. Logo oficial Proyecto Open Forecast .....	135
ANEXO D. Instrumento Certificado - Termohigrómetro Taylor .....	135
ANEXO E. Vista sello certificación - Termohigrómetro Taylor .....	136
ANEXO F. Certificado de calibración - Termohigrómetro Digital Taylor.....	137
ANEXO G. Informe de calibración - Termohigrómetro Digital .....	138
ANEXO H. Certificado de calibración Página 1 de 3 - Termohigrómetro Digital ..	139
ANEXO I. Certificado de calibración Página 2 de 3 - Termohigrómetro Digital....	140
ANEXO J. Certificado de calibración Página 3 de 3 - Termohigrómetro Digital ...	141
ANEXO K. Sensores: Arriba de izquierda a derecha: BMP085, HIH-4030 y TMP36. Abajo: RTH03, MPL115A1 y MCP9700 .....	142
ANEXO L. I Etapa de muestras - Prototipo v0.1 Protoboard .....	143
ANEXO M. I Etapa de muestras - Prototipo v0.1 Vista del Terreno .....	143
ANEXO N. Primera etapa de muestras - Prototipo v0.1 vs Vantage Pro2 .....	144
ANEXO O. Primera etapa de muestras - Prototipo v0.1 vs Vantage Pro2 Zoom. ....	144
ANEXO P. Segunda etapa de muestras - Prototipo v0.2 .....	145
ANEXO Q. Segunda etapa de muestras - Vista Instalaciones.....	146
ANEXO R. Segunda etapa de muestras - Vista General Instalaciones .....	147
ANEXO S. Segunda etapa de muestras - Vista 30° Instalaciones.....	148

ANEXO T. Segunda etapa de muestras - Vista 60° Instalaciones.....	149
ANEXO U. Segunda etapa de muestras - Vista 90° Instalaciones .....	150
ANEXO V. Segunda etapa de muestras - Vista 120° Instalaciones.....	151
ANEXO W. Segunda etapa de muestras - Vista 150° Instalaciones.....	152
ANEXO X. Código Plataforma Open Forecast.....	153
ANEXO Y. Código Librería Sensor RHT03.....	154
ANEXO Z. Código Librería Sensor BMP085.....	155
ANEXO AA. ANOVA unidireccional sensores temperatura .....	158
ANEXO BB. ANOVA unidireccional sensores humedad .....	159
ANEXO CC. Estadísticas descriptivas sensores de humedad.....	160
ANEXO DD. Estadísticas descriptivas sensores de temperatura .....	160
ANEXO EE. Estudio del sistema de medición para el sensor TMP36 .....	161
ANEXO FF. Estudio del sistema de medición para el sensor RHT03.....	161

## INTRODUCCIÓN

El proyecto *prototipo de estación meteorológica para la medición de variables ambientales aplicando técnicas de diseño experimental y el uso de la plataforma embebida Arduino* es un diseño electrónico desarrollado en su totalidad sobre las bondades del hardware libre, es decir, pocos costos de desarrollo e instalación, la libertad en el manejo de las licencias para su implementación y un gran avance en documentación e interés por parte de la comunidad mundial; el cual nace como respuesta a una profunda problemática sobre las afectaciones climáticas de la costa Atlántica Colombiana, permitiendo así brindar una alternativa viable, funcional y de bajo presupuesto a las estaciones meteorológicas convencionales, en lo que respecta al proceso de adquisición, monitoreo y procesamiento de los datos de las principales variables ambientales, específicamente temperatura, humedad y presión atmosférica, a través de completos análisis estadísticos sobre diseño de experimentos.

*Open Forecast*, el nombre asignado al prototipo de estación meteorológica diseñado, es un proyecto escalable, por tal motivo se mantiene en constante desarrollo, permitiendo la integración de nuevas variables y dispositivos que mejoren y complementen estas mediciones.

Esta investigación está basada en la normativa ICONTEC NTC 1486, sexta actualización [1], para la presentación de Trabajos de investigación, incluyendo Trabajos de Grado; y sustenta el trabajo de Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Ingeniero Gabriel Piñeres: *Estudio del protocolo 6LoWPan en una red de sensores inalámbricos para un Sistema de Alertas Tempranas* de la Universidad Tecnológica de Bolívar, así como el trabajo de investigación del Ingeniero Ángel Mejía, *Caracterización de sistemas de comunicaciones para la medición de variables meteorológicas que permita estudiar los cambios climáticos en la Región Caribe*, de la Universidad de la Costa CUC. Actualmente el presente proyecto también es apoyado por el Comando Aéreo de Combate N°3 de la Fuerza Aérea Colombiana, en cabeza del Técnico Primero Jhon Rodríguez Medina.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de los últimos años Colombia ha experimentado profundos cambios climáticos motivados por su creciente época invernal y la fuerte presencia del fenómeno del Niño que ocasionan grandes estragos a nivel nacional.

Estas estimaciones son cada vez más negativas, y según investigaciones internacionales recientes que analizan el comportamiento futuro de la costas colombianas, y que han estudiado las consecuencias del aumento de un metro en el nivel del mar durante los próximos 100 años, concluyen que además de la erosión de las playas, pantanos, y mangles, podría haber inundaciones permanentes en 4.900 kilómetros cuadrados en zonas costeras de tierra bajas, que afectarían a unos 1,4 millones de habitantes, 85 por ciento de los cuales viven en zonas urbanas, por lo cual grandes extensiones de las tierras de cultivos y pastos en la región Caribe quedarían expuestas a diferentes niveles de inundación. [2]

Ahora bien, si a esa situación se le suma la complejidad de la geografía colombiana, que provoca grandes variaciones climáticas según la zona, y que en cada área del país las estaciones secas o de lluvias siguen diferentes ritmos [3], además de la gran variabilidad de la precipitación, siendo caso de estudio eventos de sitios distantes de menos de diez kilómetros en línea recta con diferencias en los volúmenes registrados, el estudio climático se enfrenta a la gran problemática de determinar tanto el comportamiento como la distribución espacial o temporal, de los cambios interanuales. [4]

Cabe destacar, que a pesar del gran trabajo del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), con lo que respecta al estudio y medición de variables meteorológicas a nivel nacional, y la popularidad que sistemas de estaciones meteorológicas por parte de instituciones gubernamentales o educativas, ninguno de estos sistemas cuentan con un estudio detallado sobre el diseño u obtención de los mejores elementos o dispositivos a emplear, puesto que son sistemas estándar, lo que se traduce en mayores coste de adquisición y sostenimiento, puesto que por lo general este tipo de estaciones son de diseño y fabricación muy cerrada, lo que impide conocer su funcionamiento para una posible adaptación a nuestro entorno, o en su defecto el mantenimiento intrínseco que se debe hacer para cada dispositivo electrónico.

Por tal motivo se hace imprescindible un plan de choque contra este tipo de fenómenos, a la vez que se garantice una constante monitorización de las variables ambientales que se relacionen con dichos incidentes, con sistemas que permitan su manipulación y abaraten los costes para su masificación.

En este punto interviene la presente investigación, pues plantea el diseño de una estación meteorológica compacta, económica y portable, con las particularidades adicionales de ser escalable, modular y por supuesto abierta en lo que respecta a su estudio y ejecución; permitiendo ser acoplable en un futuro con cualquier sistema de comunicación para la transmisión y recepción de datos en lo referente a la medición de variables climáticas, a consideración con las particularidades de cada región o terreno a implementar.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El poder estudiar y predecir los eventos climáticos es una necesidad primordial por parte de todos los organismos y personas involucradas. Formalmente se presentó su importancia en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992, así como en su Declaración de principios conocida como la Carta de la Tierra o Declaración de Río, como en el Plan de Acción denominado Programa o Agenda 21. [5]

Con base a dicha publicación, la Carta de la Tierra en su principio 10 dispuso, que “(...) toda persona deberá tener acceso adecuado a la información sobre el medio ambiente de que dispongan las autoridades públicas, incluida la información sobre los materiales y las actividades que encierran peligro en sus comunidades, así como la oportunidad de participar en los procesos de adopción de decisiones. Los Estados deberán facilitar y fomentar la sensibilización y la participación de la población, poniendo la información a disposición de todos.”

Este principio permite que toda persona tenga acceso a la información, con el derecho de la comunidad a participar en la toma de decisiones, permitiendo obtener información oportuna y precisa.

Por su parte, la Agenda 21 en su Capítulo 40 se refiere al tema de la *información para la adopción de decisiones*:

“El mejoramiento del acceso a la información, dado que, aunque en ocasiones existen muchos datos que podrían utilizarse para una gestión sostenible y para la toma de decisiones, es difícil encontrar la información adecuada, en el momento preciso, en la forma y escala pertinente. La información no está debidamente ordenada y sistematizada, debido a diversos obstáculos como pueden ser problemas financieros, baja capacitación del personal, desconocimiento de su valor y utilidad, falta de tecnologías apropiadas, entre otros.”

El Capítulo 34 de la Agenda 21 plantea específicamente la transferencia de tecnología, reconociendo que todos los países necesitan tener acceso a tecnologías modernas y eficaces para alcanzar el desarrollo sostenible. Igualmente se sugiere desarrollar y aplicar técnicas de información para fortalecer la difusión de los resultados de las investigaciones relacionadas con la sostenibilidad.

A partir de todo ello, se comprueba la necesidad imprescindible de un plan sobre el manejo de la información ambiental, siendo integrada por medio de la Ley 99 de 1993 como legislación nacional con carácter obligatorio.

Por tal motivo, y gracias a al avance de la microelectrónica y la construcción de sensores y transductores, esta investigación propone el diseño de un dispositivo que complemente y fomente los ítems antes descritos, otorgando un manejo adecuado al análisis y adquisición de datos ambientales. Dicho dispositivo estará respaldado por el desarrollo de sistemas embebidos que integran todo tipo de funciones facilitando el manejo de información, permitiendo que una placa embebida controle todos los tipos de variables que se necesiten supervisar, evitando por consiguiente en muchos casos, cruce o desinformación sobre eventos climáticos.

Ahora bien, conforme al entorno de la costa Atlántica Colombiana, donde se desarrolla la presente investigación, se evidencia notables necesidades del estudio de las variables ambientales, teniendo en cuenta que esta zona es una de las regiones más afectadas en los últimos tiempos con las inclemencias del invierno, que podrían ser aminorados, implementando este tipo de tecnologías para la medición de variables, predicción y eventos atmosféricos y climáticos. [6]

Por ende para llevar a cabo este tipo de sistemas, se necesita de una plataforma de desarrollo abierto, para que tanto su diseño como su distribución sean libres, y puedan utilizarse para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin tener que adquirir ningún tipo de licencia, por lo cual hace que su coste sea muy inferior a la de otras placas que existen en el mercado, lo que facilita enormemente la aplicación en cualquier diseño.

Todas estas ventajas hacen de este tipo de sistemas una importante alternativa para el manejo de una estación meteorológica, puesto que permite ser adaptada a las variables ambientales y usar estos datos para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos, mejorando sustancialmente el manejo de las alertas tempranas, impulsadas por la precisión y fiabilidad de la administración de los datos, debido a estudios previos de las mediciones realizadas, permitiendo confirmar la veracidad de la información generada por el diseño mismo e incitadas por la necesidad de las autoridades competentes de tomar decisiones con mayor porcentaje de certeza. [7]

Es por todo esto, que se hace necesario implementar este tipo de estudios, para mejorar el rendimiento del dispositivo, generando beneficios tales como agilizar la estabilidad de los datos arrojados en intervalos de tiempo, evaluar y comparar con

otros sistemas de medición de variables meteorológicas que nos permita identificar las fortalezas y debilidades del prototipo diseñado.



### **3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo se podría integrar a estos dispositivos, de tal manera que se mitiguen los daños y se facilite la adquisición de datos suministrados por las variaciones del comportamiento climático?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un prototipo electrónico de estación meteorológica con el fin de obtener una completa medición de las principales variables ambientales (temperatura, humedad y presión atmosférica), aplicando técnicas de diseño experimental y el uso de la plataforma de embebida Arduino.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar las ventajas y desventajas del manejo de plataformas de desarrollo abiertas para el análisis y adquisición de datos de variables ambientales.
- Identificar los factores que tienen mayor influencia sobre las variables de respuesta (temperatura, humedad y presión atmosférica).
- Determinar los dispositivos electrónicos apropiados para el manejo de datos y respuestas del sistema para la implementación de la estación meteorológica.
- Reducir la variabilidad de respuesta garantizando el rendimiento y estabilidad del prototipo, a través de la calibración previa con un instrumento certificado que corrobore la información suministrada mediante la adquisición de datos.
- Elaborar un prototipo de estación meteorológica que permita recoger las señales de los sensores y transductores a implementar para la medición de variables ambientales.

## 5. LICENCIAS DEL PROYECTO

En todo el desarrollo del proyecto *Open Forecast* se usan licencias libres, que permiten el uso y la modificación por terceros. Se diferencia el licenciamiento de la documentación y de los programas generados, usando licencias diferentes para cada caso. A continuación se resume el contenido y alcance de las licencias, aunque se indica la necesidad de consultar los textos completos originales para resolver cualquier duda relacionada con el uso de las mismas.

**Documentación:** el presente texto así como los manuales del sistema se liberan bajo licencia *Creative Commons CC - BY - SA 3.0*, que permite el uso, reproducción y modificación libre de los materiales bajo las siguientes condiciones:

- Cualquier uso o modificación de la obra debe identificar al autor original.
- Cualquier obra derivada debe compartirse bajo la misma licencia.

La licencia completa puede consultarse en el siguiente enlace web:

<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/>

**Software:** el software desarrollado para el proyecto se libera bajo la licencia GPL. Esta licencia permite el uso, modificación y transferencia libre del software asociado.

La licencia completa puede consultarse en el siguiente enlace web:

<http://gnu.org/copyleft/gpl/>

### 5.1 USO COMERCIAL DEL PROYECTO

Las licencias escogidas no impiden en ningún caso el uso comercial del proyecto.

No obstante, y debido a las mismas, cualquier modificación que se haga en el mismo deberá hacerse disponible bajo las mismas licencias. Esto incluye los documentos y manuales, así como el código fuente empleado en la plataforma.

### 5.2 DESCARGA

Una vez completado y presentado el proyecto, todos los materiales de documentación, esquemas y software, serán publicados en la web: <https://sites.google.com/site/opforecast/>

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1 MARCO DE ANTECEDENTES

La investigación se desglosa de un macro proyecto que permite la adaptación de los sistemas de comunicaciones existentes en pro de la implementación de una importante red de medición en el territorio colombiano; por lo cual, se debe mejorar la gestión de datos e información en los controles de contingencia y de esta manera evitar desastres ambientales principalmente en los periodos de mayor incidencia ambiental. [8]

En todo este proceso de búsqueda y acople de tecnologías emergentes que apoyasen y solventasen este tipo de problemáticas a nivel tecnológico, se instauró la necesidad de redes de sensores que monitoreen la actividad referente a la variación del clima, variables atmosféricas y de la manera en cómo dichos cambios repercuten de manera directa sobre el territorio colombiano, y por ende sobre la región Caribe.

Son muchos los proyectos de monitorización basado en plataformas de desarrollo abiertas, debido a las ventajas que se han expuestos previamente. Cabe destacar implementaciones recientes en la aplicación de plataformas abiertas para la monitorización de variables como la instalación en el canal Gowanus, Brooklyn, NY, de un sistema de vigilancia del medio ambiente con Arduino, donde el sistema envía alertas tempranas para brindar un control íntegro del nivel de las aguas a lo largo del caudal del canal. Otro caso de estudio interesante es el análisis de las variables de luz, temperatura y humedad en una determinada población, realizado por la Universidad de Porto [9], donde se agrupan todo tipo de sensores y transductores para supervisar cualquier tipo de variación, donde se comprueba la importancia e interés de la comunidad mundial en el manejo de herramientas de código y hardware abierto, como es el caso de la plataforma Arduino, para la medición de variables ambientales.

Basándonos en esa popular plataforma Arduino, hay una vasta documentación sobre el manejo de sistemas similares que supervisen las variables ambientales. Merece una mención especial el proyecto *Smart Citizen*, quien ha recibido una gran apreciación por la comunidad mundial.

“Smart Citizen es una plataforma para generar procesos participativos de las personas en las ciudades, se basa en la geolocalización, en Internet y el hardware y software libres para la captura de datos y (en una segunda fase) la producción de objetos; conecta personas con su entorno y su ciudad para crear relaciones más eficaces y optimizadas entre recursos, tecnología, comunidades, servicios y acontecimientos en el entorno urbano.”<sup>1</sup>

Smart Citizen fue lanzada al mundo en una campaña de crowdfunding<sup>2</sup> lanzada el 17 de Mayo de 2013, aun cuando este proyecto se encontraba en fase de investigación, y finalizada el 16 de Junio del mismo año, logrando en tan solo 30 días la suma de \$68,000 dólares

Así como este proyecto, se destaca desarrollos similares específicos en la medición de variables ambientales sobre Arduino y estaciones meteorológicas, como lo son:

- Control de un dispositivo conectado al Arduino mediante los datos de la estación meteorológica<sup>3</sup>, desarrollado por la I.E.S. Francisco Romero Vargas en Andalucía, España.
- WeatherLAN: Un proyecto libre que combina Hardware y Software Libre para registrar la temperatura y humedad de un entorno. [10]
- Estación Meteorológica con Arduino<sup>4</sup>, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.

Como se puede apreciar en cada proyecto, este tipo de desarrollos son de gran valor científico pues permiten proveer servicios de monitoreo y de gestión de alarmas asociadas al cambio climático; pero poca utilidad tendrían si no existiesen entidades que certificaran, apoyasen o corroborasen este tipo de sistemas.

En Colombia la entidad encargada es el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), quien cuenta como principal visión que “todos los colombianos y los habitantes del mundo, las autoridades nacionales, regionales y locales y los sectores productivos, dispongan de información hidrometeorológica, oceanográfica y ambiental del país, oportuna y confiable, con fácil acceso y útil para la toma de decisiones relacionadas con el

---

<sup>1</sup> Extracto de la página oficial del proyecto <http://www.smartcitizen.me/>

<sup>2</sup> Campañas colectivas que permiten financiar proyectos personales o empresariales.

<sup>3</sup> Enlace web [http://www.iesromerovargas.net/estacion-domotica\\_arduino.htm](http://www.iesromerovargas.net/estacion-domotica_arduino.htm)

<sup>4</sup> Documentación en línea: <https://dl.dropboxusercontent.com/u/65510968/Memoria.pdf>

desarrollo sostenible, la conservación de ecosistemas y la reducción de riesgos en el territorio nacional”<sup>5</sup>.

El IDEAM como instituto nacional cuenta además con los siguientes objetivos misionales:

- Generación y recopilación de datos.
- Estructuración de la Información.
- Generación de Conocimiento sobre el Comportamiento de las Variables Ambientales.
- Generación de Conocimiento sobre las Relaciones Sociedad – Naturaleza.
- Generación de Conocimiento para Pronósticos y Alertas.

Este ultimo de gran importancia para la presente investigación, pues permite complementar el actual servicio de pronósticos, predicciones climáticas y alertas de eventos naturales de dicha entidad, favoreciendo el desarrollo socioeconómico de la población colombiana.

Como se puede evaluar el IDEAM, provee importantes herramientas que van desde la adquisición, procesamiento y divulgación de datos medioambientales, pero este tipo de servicios son limitados, debido a las restricciones geográficas de equipos o sistemas de medición, por tal motivo se hace imprescindible un servicio que entregue datos precisos para cada región en particular.

---

<sup>5</sup> Misión del IDEAM: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/6#mision1>

## 6.2 MARCO TEÓRICO

Para poder estudiar y predecir los eventos climáticos se debe conocer una serie de conceptos indispensables para comprender las afectaciones climáticas de la zona colombiana, así como las definiciones relacionadas para dichos eventos, como también la temática que abarca la necesidad de implementar plataformas embebidas abiertas, de lo cual se desprenden los términos específicos para cada tecnología, la descripción de los principales sistemas embebidos disponibles en el mercado, los sensores, las herramientas y la comunicación implementada para permitir el manejo de los datos y variables ambientales.

Para poder comprobar que los datos del prototipo son de alta confianza, se debe, tasar de manera estadística las dispersiones de los resultados entregados por los sensores, comparando los resultados de dichos 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés, manejando los factores controlables y no controlables para poder generar datos seguros, “Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios de respuesta de salida” Montgomery [11]

### 6.2.1 Software Libre

Para los años 80's, Richard Stallman, ingeniero y programador del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), había visualizado lo conflictivo del manejo de la información si se lograban mantener las restricciones y los límites en el intercambio del conocimiento. De esta manera, surgió en 1985, el comienzo del proyecto GNU (GNU no es Unix), una alternativa al sistema operativo Unix, caracterizado por su alto nivel privativo y de costes, el cual con la inclusión del núcleo Linux en 1991 lograría convertirse en el sistema operativo libre más importante del mundo, usado actualmente, según informes del IDC (International Data Corporation), por el 78% de los principales 500 servidores del mundo, y por el 89.2% de las computadoras más potentes o supercomputadoras del mundo gracias a su confiabilidad, seguridad y libertad. Poco tiempo después se fundó la organización sin ánimo de lucro Free Software Foundation, pero quizás su mayor contribución fue la invención del concepto de copyleft, que permite la libre distribución de copias y versiones modificadas de una obra. Es a partir de ello, que se dio apertura al concepto de software libre, que valga la aclaración, no significa gratuito. El software libre es sencillamente un asunto de libertad, no de precio. [12]

El concepto de software libre hace referencia a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. De modo más preciso, se refiere a cuatro libertades de los usuarios del software, que necesitan cumplirse en su totalidad para ser considerado libre:

- La libertad de usar el programa, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y adaptarlo a las necesidades (libertad 1).
- La libertad de distribuir copias (libertad 2).
- La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie (libertad 3).

“El movimiento de software libre es uno de los movimientos sociales más exitosos de los que han emergido en los pasados 25 años, y es manejado por una comunidad mundial de personas programadoras preocupadas por la ética, dedicadas a la causa de la libertad y del compartir (...)”<sup>6</sup>

A partir de este nuevo apoyo el movimiento del software libre, pasó de ser una alternativa exclusiva a un mercado técnico, a convertirse en una estructura clave para diversos grupos sociales y culturales, en lo que se considera actualmente como la cultura libre, donde personas que comparten este tipo de ideales lo han llevado a la mayoría de las áreas del saber del ser humano, compitiendo con altas prestaciones a los principales proveedores de servicios de software y hardware.

### 6.2.2 Código Abierto (Open Source)

Aunque inicialmente se podría pensar que software libre y el código abierto es lo mismo, se debe conocer que sus principios difieren bastante entre ellos. Se debe tener en cuenta que «palabras diferentes transmiten ideas diferentes».

El problema sintáctico entre estas dos filosofías surge cuando en 1998 las personas comenzaron a asociar al software abierto como software libre, debido a la limitación de la lengua inglesa de asociar el término *open* a libre y abierto.

Según la FSF<sup>7</sup>, “el código abierto es una metodología de desarrollo; el software libre es un movimiento social. Para el movimiento por el código abierto, el software que no sea libre es una solución ineficiente. Para el movimiento por el software libre, el software que no es libre es un problema social y el software libre es la solución.” [13]

De esta manera el término de código abierto se refiere netamente a los beneficios técnicos y económicos del código abierto sin la intervención de los aspectos éticos

---

<sup>6</sup> Peter T. Brown, Director Ejecutivo, Free Software Foundation

<sup>7</sup> Free Software Foundation – Enlace oficial: <http://www.fsf.org/>



que conlleva. Aunque cabe aclarar que por lo general existe muy poco software que sea reconocido por la OSI<sup>8</sup> y que a su vez no sea software libre.

A partir de ello la OSI definió las siguientes 10 condiciones que debe cumplir una licencia para considerarse de código abierto:

- Condición 1. Libre redistribución: el software debe poder ser regalado o vendido libremente.
- Condición 2. Código fuente: el código fuente debe estar incluido u obtenerse libremente.
- Condición 3. Trabajos derivados: la redistribución de modificaciones debe estar permitida.
- Condición 4. Integridad del código fuente del autor: las licencias pueden requerir que las modificaciones sean redistribuidas sólo como parches.
- Condición 5. Sin discriminación de personas o grupos: nadie puede dejarse fuera.
- Condición 6. Sin discriminación de áreas de iniciativa: los usuarios comerciales no pueden ser excluidos.
- Condición 7. Distribución de la licencia: de deben aplicarse los mismos derechos a todo el que reciba el programa
- Condición 8. La licencia no debe ser específica de un producto: el programa no puede licenciarse solo como parte de una distribución mayor.
- Condición 9. La licencia no debe restringir otro software: la licencia no puede obligar a que algún otro software que sea distribuido con el software abierto deba también ser de código abierto.
- Condición 10. La licencia debe ser tecnológicamente neutral: no debe requerirse la aceptación de la licencia por medio de un acceso por clic de ratón o de otra forma específica del medio de soporte del software.

### 6.2.3 Hardware Libre

El hardware libre surge en los años 70 como un movimiento radical de los aficionados a la electrónica y la computación para compartir sus diseños y esquemas en la construcción de sus dispositivos. Pero solo fue hasta finales de los 90s, con la inclusión de la filosofía de software libre y sus populares 4 libertades que se popularizó hasta convertirse en palabras de Chris Anderson, editor en jefe de la revista Wired (una de las mayores revistas tecnológicas del mundo) en “La próxima revolución industrial” [14]

A la vanguardia de estos nuevos movimientos una nueva cultura comienza a agrupar estas necesidades y toma el nombre de DIY, (Do It Yourself- Hazlo tú

---

<sup>8</sup> Iniciativa de Código Abierto. En inglés “The Open Source Initiative” Enlace oficial: <http://opensource.org/>

mismo) y del Crowdsourcing (trabajo colaborativo) quienes permiten un cambio de paradigma en el desarrollo de las actividades de la vida cotidiana, convirtiendo este concepto en un gran aporte de la cultura universal y el crecimiento autónomo. Es notable destacar proyectos cimentados en dicha filosofía como el expuesto por la empresa estadounidense Local Motors, quienes permiten a sus clientes subir los planos de los autos que deseen y luego “imprimirlos” en las micro fábricas asociadas a Local Motors, sin piezas sobrantes, con menores costes, y de manera sustentable, un proyecto que ya ha captado la mirada de gigantes de la industria como Ford, o como el proyecto de urbanismo participativo *Dream Hamar* en Noruega que permite crear “un sistema de iluminación interactivo que comunica las luces de la ciudad con Internet”. Todos estos sistemas controlados con una sencilla placa de coste cercano a los 22 dólares que se ha convertido en el diseño embebido más importante de los últimos años.

Pero es esta relación del hardware libre con el software libre lo que ha permitido ese crecimiento gigantesco, pero “la diferencia es que el hardware no es un intangible, por lo que hay un costo de adquisición de los materiales. Lo que permite es no tener que arrancar desde cero para hacer muchas cosas. Poder agarrar plataformas de circuitos que ya fueron desarrolladas y son de libre acceso, como en el caso de Arduino”, explica Diego Brengi, ingeniero del Laboratorio de Desarrollo Electrónico con Software Libre del Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina.

Hoy día el hardware libre nos ha permitido enfrentarnos a un cambio de paradigma y la apertura a una nueva gama de posibilidades productivas y de innovación, que día a día cobran más fuerza en todos los ámbitos de la sociedad, es decir “tener la posibilidad de mirar lo que hay dentro de las cosas, que eso sea éticamente correcto, y que permita mejorar la educación. Educar en cómo funcionan las cosas (...)”<sup>9</sup>

#### **6.2.4 Hardware Abierto (Open Hardware)**

Es importante destacar que a pesar de su parecido como iniciativas de desarrollo el concepto de hardware libre y hardware abierto difieren en algunos aspectos significativos.

Según Bruce Perens (co-fundador de la OSI), “el hardware libre es aquél que viene con sus especificaciones técnicas, de modo que el usuario pueda crear él mismo una réplica, y el hardware abierto es aquél que viene con las especificaciones completas de modo que el usuario pueda interactuar con él sin ningún tipo de sorpresas desagradables y sin necesidad de saber lo que pasa dentro”. Es decir, al hacer una analogía con la construcción de un tornillo, por

---

<sup>9</sup> David Cuartielles, uno de los artífices del proyecto Arduino

ejemplo, al conocer sus especificaciones técnicas (rosca, diámetro, longitud, tipo de cabeza, resistencia a la tracción, resistencia general a la corrosión, entre otras), esto sería hardware abierto, mientras que por extensión el hardware libre incluiría además la composición exacta de la aleación utilizada para crearlo, saber cómo fue templado, etc. En este sentido, el hardware libre, inevitablemente, se fundamenta en el hardware abierto.

Cabe agregar también que el hardware libre infiere una mayor documentación respecto a X o Y realización, logrando garantizar que el usuario conozca a detalle la mayor cantidad de información para poder realizar y efectuar su proyecto, caso contrario con el hardware abierto que satisface con solo tener las especificaciones técnicas imprescindibles para saber cómo funciona ese dispositivo, sin que ello implique saber cómo construirlo, copiarlo o reproducirlo. [15]

### **6.2.5 Sistemas embebidos**

“Son sistemas que encapsulan en un dispositivo todo el hardware y el software, normalmente en una sola tarjeta, para realizar un propósito específico.” [16] Su desarrollo permite resolver problemas en tiempo real, por tal motivo presentan un hardware sencillo pero compacto, siendo menos complejos en su capacidad de cómputo, memoria, almacenamiento, entre otras; pero permitiendo una mejorable capacidad de acción ante las situaciones para las que fueron diseñados.

Otra característica importante derivada de su diseño, es su capacidad para trabajar en tiempo real y en forma simplificada e indefinida.

### **6.2.6 Plataformas de desarrollo electrónico**

Las plataformas de desarrollo son sistemas embebidos sencillos y de bajo costo que permiten reducir los tiempos involucrados en el diseño de una solución, aumentando la confiabilidad y velocidad de fabricación de un prototipo y en ocasiones, convirtiéndose en la base del producto final mismo; de esta manera el desarrollador puede concentrarse en afinar las prestaciones de su diseño, más que en implementar funcionalidades de bajo nivel, pues éstas ya han sido resueltas por los fabricantes de la plataforma.

Actualmente debido al gran auge de la filosofía OSHW (Open Source Hardware), existen en el mercado una gran variedad de modelos de este tipo de placas que “cubren con facilidad el 80% o 90% de los requerimientos de hardware de proyectos generales”. [17]

## **6.2.6.1 Descripción de las plataformas de desarrollo electrónico**

### **6.2.6.1.1 Arduino**

Arduino es una plataforma embebida de hardware abierto, creada bajo la licencia Creative Commons (CC), por lo cual permite que tanto su diseño como su distribución sean libres. Es decir, puede utilizarse para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin tener que adquirir ningún tipo de licencia, por lo cual hace que su coste sea muy inferior a la de otras placas que existen en el mercado, permitiendo también que otras empresas desarrollan sistemas que aumentan sus funcionalidades denominados *shields*, módulos de propósitos específicos, que se acoplan al sistema central Arduino. Todo esto respaldado por una gran comunidad mundial de usuarios que permiten establecer a Arduino como un estándar en los desarrollos embebidos de los principales centros de investigación, convirtiéndola en la opción más popular para desarrollo de diseños sobre computación física<sup>10</sup>.

#### **6.2.6.1.1.1 Arduino UNO**

Dentro de la gama de placas de Arduino, la versión UNO es la placa más vendida, debido a su facilidad de integrar todo lo necesario para cualquier proyecto genérico. Se destaca por contar con un microcontrolador; 14 pines que pueden ser configurados como entradas o salidas de tipo digital, y además 6 pines que cumplen la función de entradas análogas. También se destaca por incluir una función de autoreset y una protección extra contra sobrecargas. Para más detalles técnicos consultar la tabla 1 y el anexo A.

Su nombre hace referencia a la coincidencia de haber sido lanzada simultáneamente con la versión 1.0 del IDE de programación.

---

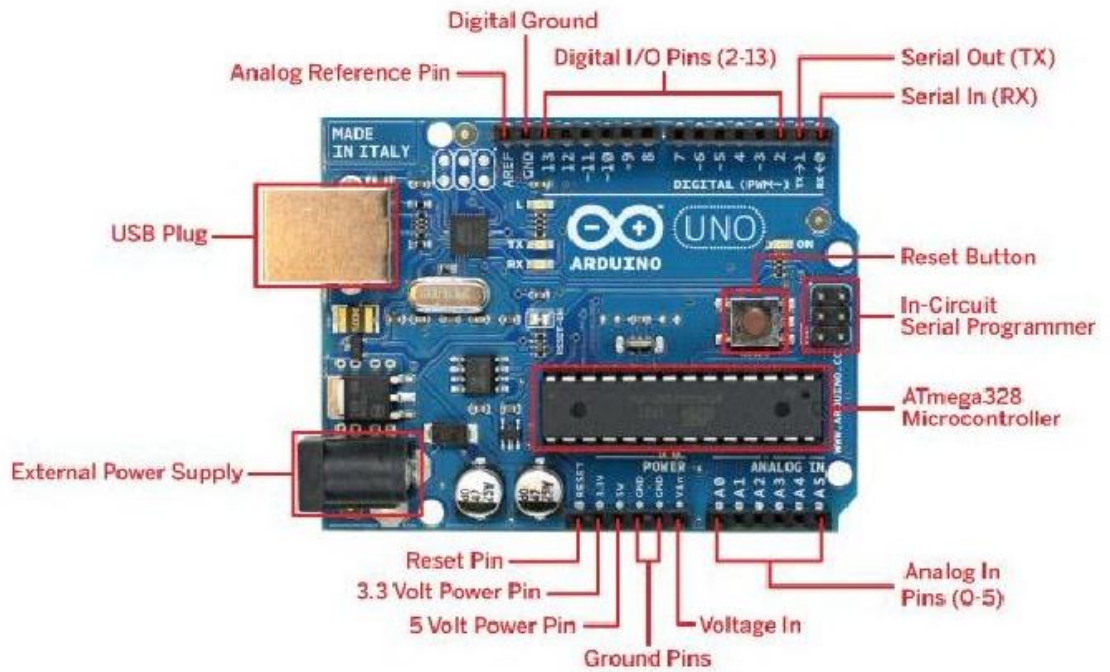
<sup>10</sup> Construcción de sistemas interactivos físicos mediante el uso de software y hardware.

Figura 1. Frontal y reverso de la placa Arduino Uno.



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

Figura 2. Elementos de la placa Arduino Uno



Fuente: <http://xurl.es/o0zoi>

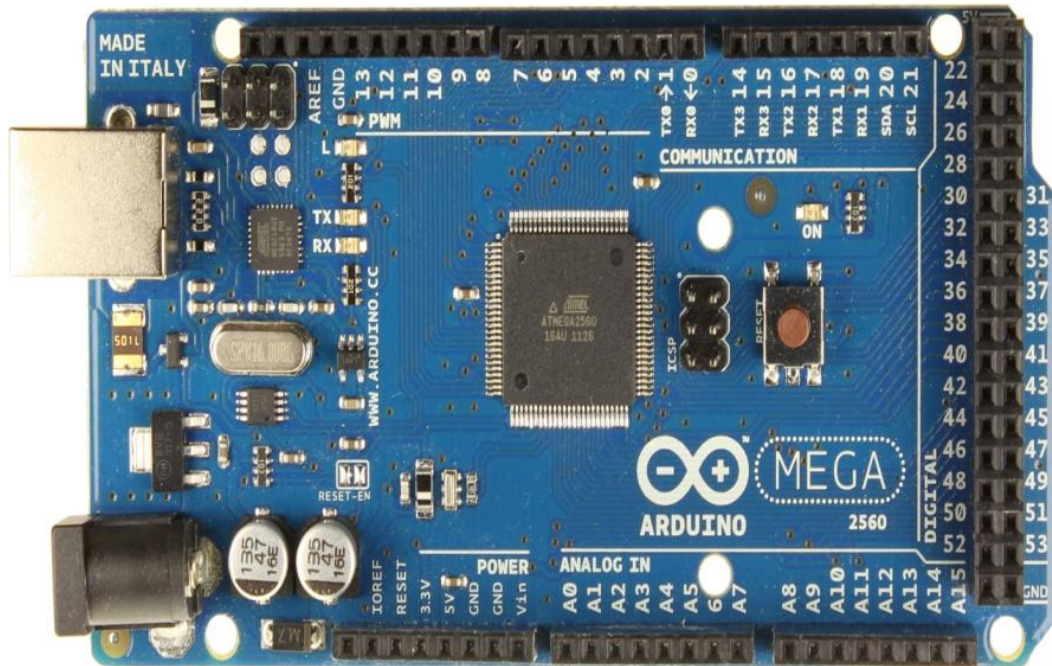
Tabla 1. Principales componentes del Arduino Uno

Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de funcionamiento	5V
Alimentación (recomendada)	7-12V
Voltaje máximo de entrada (no recomendado)	20V
Pines digitales I/O	14 (6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por I/O Pin	40 mA
Corriente DC para el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB - 0.5 KB usados por el gestor de arranque (bootloader).
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

#### 6.2.6.1.1.2 Arduino MEGA 2560

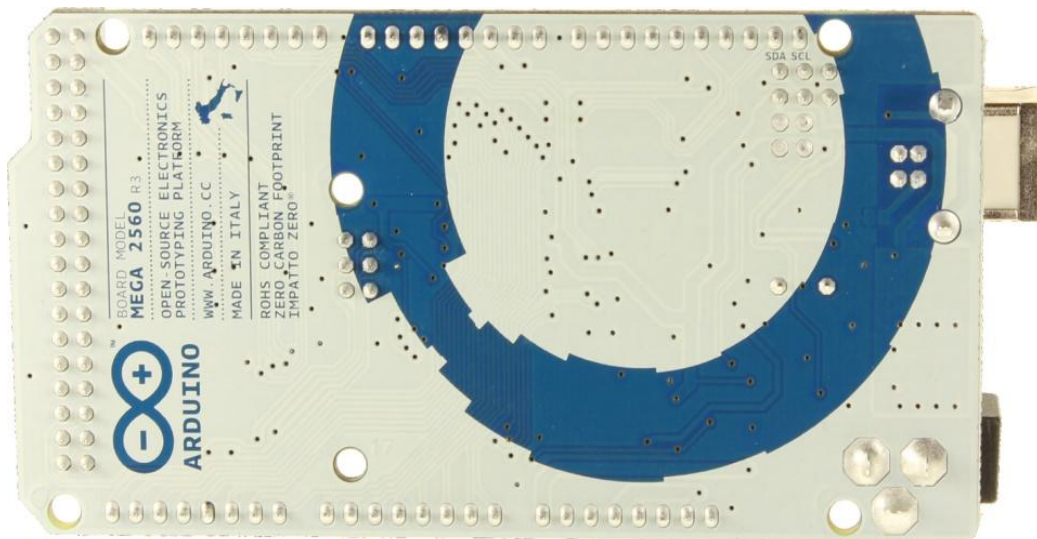
El Arduino Mega es una placa que se caracteriza por el aumento significativo en prácticamente todos los niveles destacables del Arduino Uno. Posee un microcontrolador ATmega2560; cuenta con 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida PWM), 16 entradas digitales y 4 UARTS (puertos serie por hardware). Para más detalles técnicos consultar la tabla 2.

Figura 3. Frontal placa Arduino Mega 2560



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Figura 4. Reverso placa Arduino Mega 2560



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>



Tabla 2. Principales componentes del Arduino Mega 2560

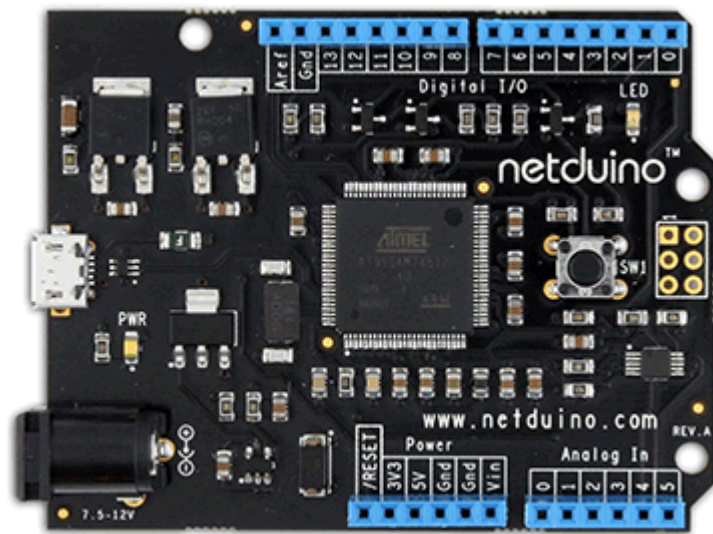
Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de funcionamiento	5V
Alimentación (recomendada)	7-12V
Voltaje de entrada (limites)	6-20V
Pines digitales E/S	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente DC por I/O Pin	40 mA
Corriente DC para el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB - 4 KB usados por el gestor de arranque (bootloader).
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

#### 6.2.6.1.2 Netduino

Netduino es una plataforma de código abierto que emplea como lenguaje de programación Microsoft.NET Micro Framework, y es programable bajo el entorno Microsoft Visual C#. Su principal característica es su potente microcontrolador de 32-bits corriendo a 120 MHz, además de ser compatible con la mayoría de los Shields de Arduino. Técnicamente posee 14 pines digitales de entrada/salida y 6 entradas analógicas.

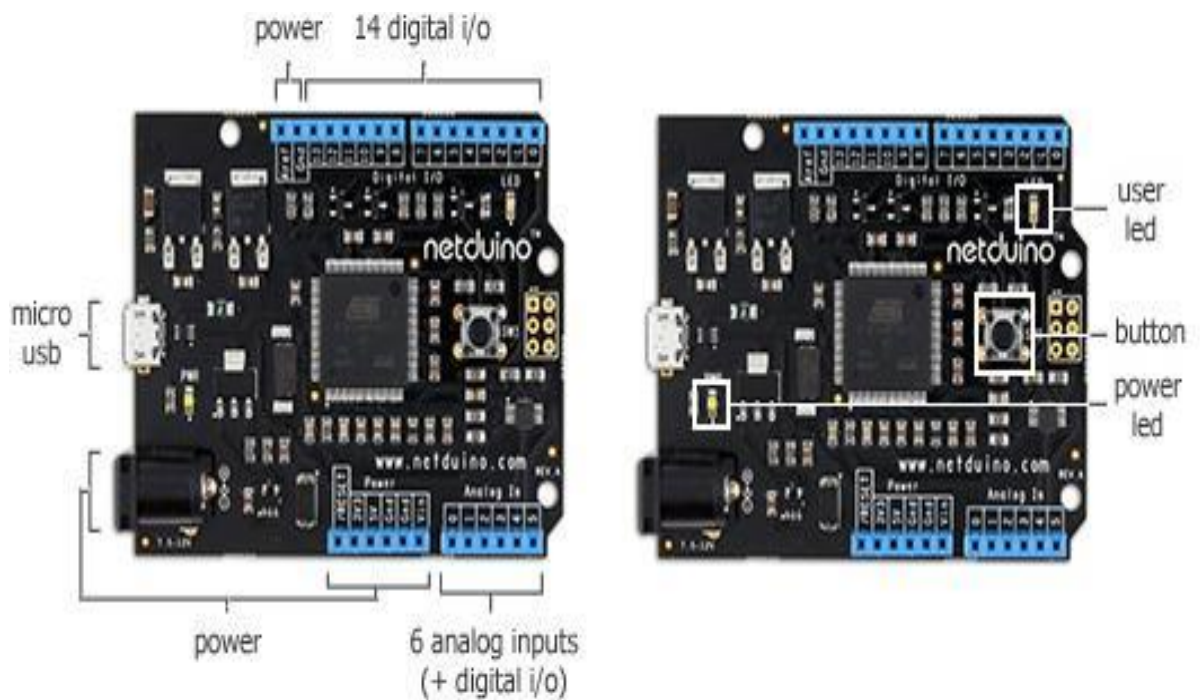


Figura 5. Frontal placa Netduino



Fuente: <http://www.netduino.com>

Figura 6. Elementos de la placa Netduino

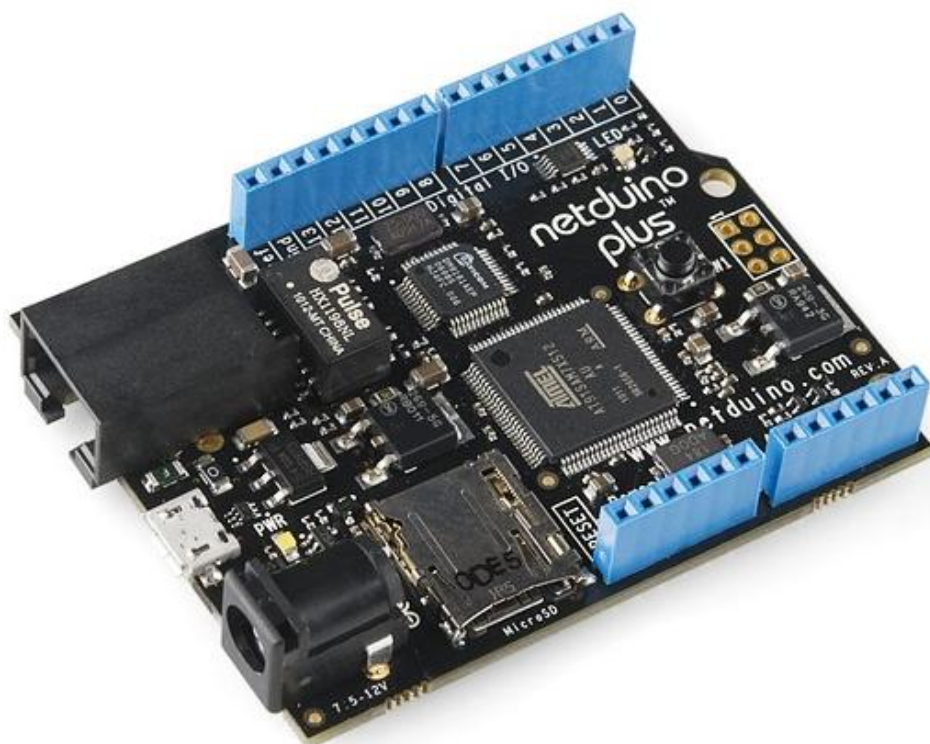


Fuente: <http://xurl.es/u53mf>

#### 6.2.6.1.2.1 Netduino Plus

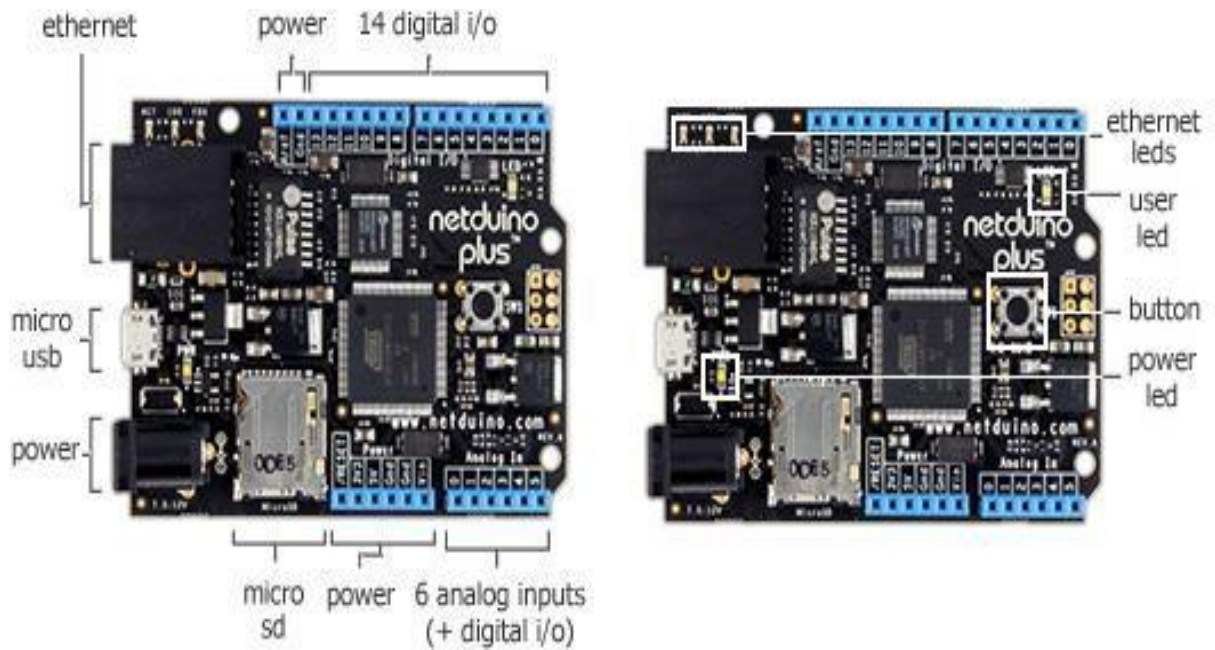
El Netduino Plus 2 se destaca por añadir una conexión Ethernet de 100 Mbps y un conector SD de hasta 2GB para mayor funcionalidad.

Figura 7. Frontal placa Netduino Plus



Fuente: <http://xurl.es/m91r0>

Figura 8. Elementos de la placa Netduino Plus



Fuente: <http://xurl.es/u3jfk>

### 6.2.6.1.3 ChipKIT

La plataforma ChipKIT, fue diseñada y fabricada por la compañía Digilent, y cuenta además con la empresa Microchip como *partner autorizado*, por tal motivo se destaca por contar con un microcontrolador de 32 bits PIC32, el cual corre a 80MHz, y no un AVR, como en anteriores proyectos.

La plataforma es desarrollada bajo software de código abierto y es totalmente compatible con el lenguaje de programación y el entorno de desarrollo Arduino; además de ser compatibles con algunos de los shields existentes y las aplicaciones para Arduino ya existentes.

### 6.2.6.1.3.1 ChipKIT Uno32

Figura 9. Frontal placa ChipKIT Uno32



Fuente: <http://xurl.es/tcjar>

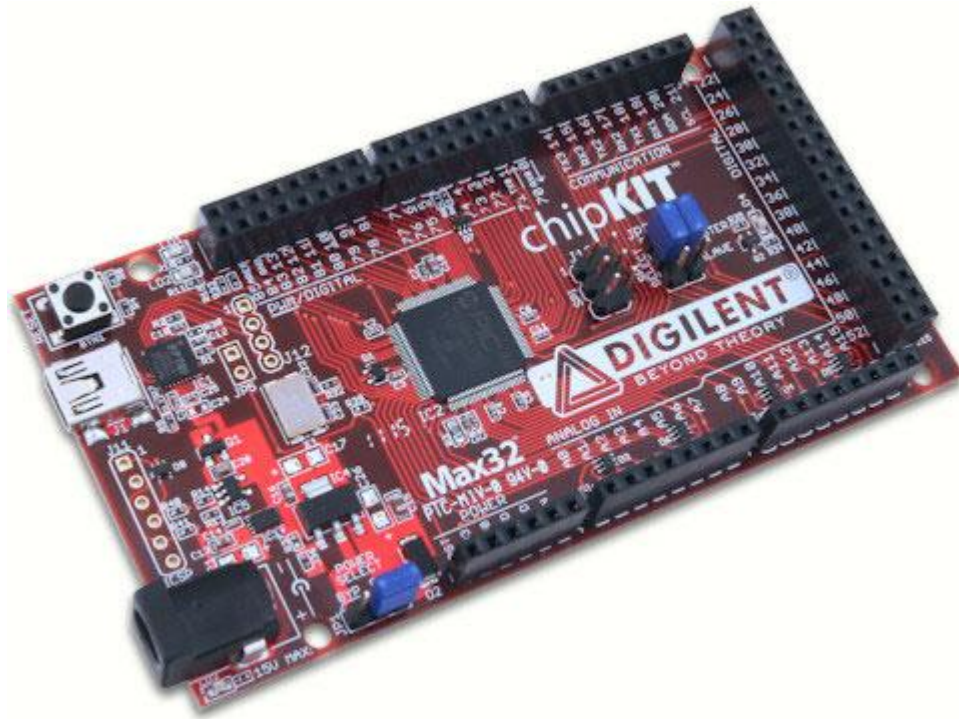
Tabla 3. Principales componentes del ChipKIT Uno32

Microcontrolador	PIC32MX320F128
Pines digitales E/S	42 (5 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	12
RAM	16 KB
Velocidad de reloj	80 MHz
Entornos de programación	Microchip's MPLAB® IDE, PICkit 3, Arduino IDE



#### 6.2.6.1.3.2 ChipKIT Max32

Figura 10. Frontal placa ChipKIT Max32



Fuente: <http://xurl.es/zzuoz>

Tabla 4. Principales componentes del ChipKIT Max32

Microcontrolador	PIC32MX795F512
Pines digitales E/S	83 (5 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Memoria Flash	512 KB
RAM	128 KB
Velocidad de reloj	80 MHz
Entornos de programación	Microchip's MPLAB® IDE, PICkit 3, Arduino IDE

Tabla 5. Comparativa plataformas de desarrollo electrónico

Plataforma	Microcontrolador	Voltaje de Operación	Voltaje de Entrada	Pines Digitales I/O	Pines Análogos	Memoria Flash	SRAM	Velocidad Reloj	Software Programación	Adicionales	Coste Unidad <sup>11</sup>
ARDUINO UNO	Atmel 8Bit AVR ATmega328	5V	7-12V	14-6 PWM	6	32KB	2KB	16Mhz	IDE Arduino	Compatible con todos los shields	\$60.500
ARDUINO MEGA 2560	Atmel 8Bit AVR ATmega2560	5V	7-12V	54-14 PWM	16	256KB	8KB	16Mhz	IDE Arduino	Compatible con todos los shields	\$120.000
NETDUINO	Atmel 32Bit ARM7TDMIAT91SA M7X512	5V	7,5-12V	14-4 PWM	6	512KB	128KB	48Mhz	Microsoft .NET Framework V4,1	Compatible con algunos shields	\$92.000
NETDUINO PLUS	Atmel 32Bit ARM7TDMIAT91SA M7X512	5V	7,5-12V	14-4 PWM	6	512KB	64KB	48Mhz	Microsoft .NET Framework V4,1	Compatible con algunos shields	\$161.000
CHIPKIT UNO32	Microchip 32Bit MIPSPIC32MX320F 128	3,3V	7-15V	42-5 PWM	12	128KB	16KB	80Mhz	MPIDE, MPLAB IDE	Compatible con algunos shields	\$105.000
CHIPKIT MAX32	Microchip 32Bit MIPSPIC32MX795F 512	3,3V	7-15V	83-5 PWM	12	512KB	128KB	80Mhz	MPIDE, MPLAB IDE	Compatible con algunos shields	\$195.000

<sup>11</sup> Todos los costes fueron extraídos de la tienda virtual Dynamoelectronics de Colombia. Enlace web: <http://www.dynamoelectronics.com>

### 6.2.7 Sistemas de monitorización ambiental.

Los sistemas de monitorización ambiental permiten la obtención de información en tiempo real, para poder estudiar las variaciones presentadas en el clima y predecir su impacto ecológico.

Este tipo de estudios se realizan a partir del diseño y ejecución de muestreos de corto y largo periodo de tiempo para caracterizar adecuadamente las fluctuaciones en el ambiente, manteniendo registros de los cambios medioambientales para un enfoque efectivo sobre la gestión ambiental. [18]

### 6.2.8 Clima, meteorología y climatología.

Según la investigación divulgada por Martonne [19], pionero de la climatología, el concepto de clima y sus derivados se establecieron a partir de las siguientes definiciones:

El **clima** es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre. Es, por tanto, una serie de valores estadísticos.

La **meteorología** es la ciencia que se ocupa de los fenómenos que ocurren a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera, o sea, donde se desarrolla la vida de plantas y animales.

La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar un pronóstico del tiempo a medio plazo.

La **climatología** es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, si no estudiar las características climáticas a largo plazo.

#### 6.2.8.1 Escala espacial de los climas

Según García [20], existen un gran número de clasificaciones de las escalas climáticas y la nomenclatura utilizada varía de unos autores a otros. En todas

ellas, sin embargo, los criterios de delimitación son similares, logrando ser agrupados en:

- **Climas zonales o macroclimas:** sus rasgos se repiten de forma más menos constante sobre áreas de extensión superior a los 2.000 Km. Se basan en el hecho de que la distribución de los principales elementos del clima como la precipitación, temperaturas, humedad relativa, viento, insolación y nubosidad se realiza por zonas, en función de la latitud, la naturaleza de la superficie subyacente y la circulación general de atmósfera.
- **Climas regionales o mesoclimas:** su extensión oscila, entre los 200 y los 2.000 Km. Permiten determinar diferencias significativas en zonas con los valores de algunos elementos climáticos.
- **Climas locales:** constituyen un complejo y variado conjunto de áreas más pequeñas, que presentan unos rasgos similares y dependientes de los climas regionales, cuyos mecanismos inciden sobre el ritmo y distribución de los elementos, pero muestran diferencias significativas como consecuencia de la altitud, orientación, tipo de cubierta vegetal y su proximidad o lejanía del mar.
- **Microclimas:** corresponden a espacios más reducidos, que pueden alcanzar el centímetro, y cuyos rasgos están determinados por los factores del entorno próximo al suelo como el tipo de materiales. Dentro de ellos no existe una uniformidad en los datos, la mayor parte se define en relación las modificaciones del clima regional.

### 6.2.9 Estación Meteorológica

"Cuando nuestros sentidos no son suficientes para determinar o medir el fenómeno meteorológico, se necesita recurrir a los instrumentos. En este caso las observaciones se llaman observaciones instrumentales y el método lectura instrumental. Las observaciones meteorológicas se realizan en la estación meteorológica, en donde se encuentran todos los instrumentos necesarios, convenientemente distribuidos."<sup>12</sup>

Según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) se entiende como Estación Meteorológica el sitio donde se hacen observaciones y mediciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio.

---

<sup>12</sup> Universidad Nacional de Colombia. Enlace virtual :  
<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap3/lec1.htm>



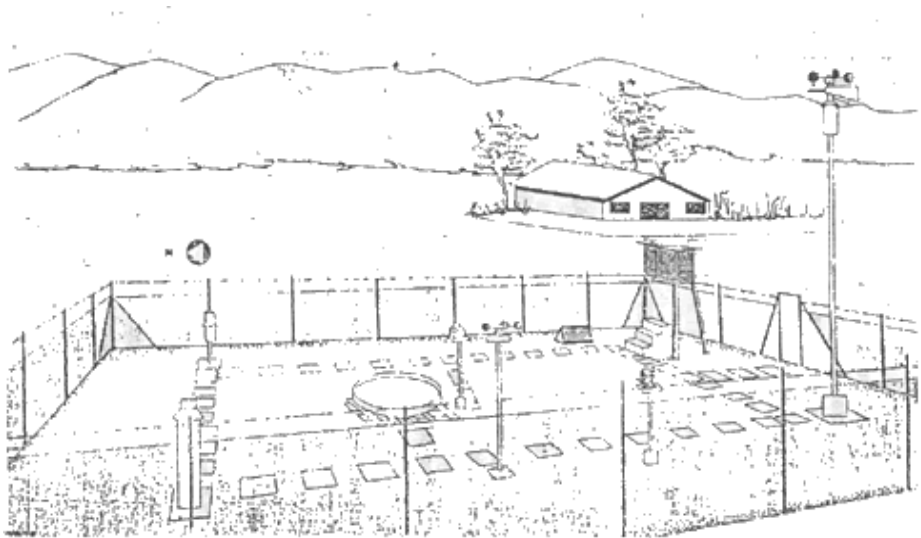
La red meteorológica es el conjunto de estaciones meteorológicas, en las que se observan, miden y/o registran los diferentes fenómenos y elementos meteorológicos. [21]

Las estaciones meteorológicas se dividen en cuatro grandes tipos:

- **Estación Meteorológica Principal**

Es aquella en la cual se hacen observaciones de lluvia, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a dos metros, humedad, viento, radiación, brillo solar, evaporación temperaturas extremas del tanque de evaporación, cantidad de nubes y fenómenos especiales. Gran parte de éstas variables o elementos se obtienen de instrumentos registradores.

Figura 11. Estación meteorológica Principal.



Fuente: SABOGAL [21]

- **Estación Meteorológica Ordinaria**

Se hacen observaciones de temperatura del aire y precipitación, primordialmente. Poseen muy poco instrumental registrador. Algunas llevan instrumentos adicionales tales como tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro.

- **Estación Sinóptica Principal**

Se hacen observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. Los datos se toman horariamente y corresponden a nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad, precipitaciones, temperaturas extremas, capa significativas de las nubes, recorrido del viento y secuencia de los fenómenos atmosféricos. Esta información se codifica y se intercambia a través de los centros mundiales con el fin de alimentar los modelos globales y locales de pronóstico y para el servicio de la aviación.

- **Estación Sinóptica Suplementaria**

Las observaciones se realizan a determinadas horas, y los datos corresponden comúnmente a la visibilidad, tiempo atmosférico, presión atmosférica a nivel de la estación, temperatura y humedad del aire.

#### **6.2.10 Estación Meteorológica Vantage Pro2**

Para el proceso de pruebas y verificación de los datos se seleccionó la Estación Meteorológica Vantage Pro2, a razón de ser la única estación meteorológica con que cuenta actualmente la Universidad de la Costa. Dentro de sus funciones y características se destacan:

- **Funciones:**

Temperatura y humedad relativa ambiente / Presión atmosférica / Velocidad y dirección del viento / Pluviómetro / Cálculo de punto de rocío y sensación térmica / Memorias de máximas y mínimas.

- **Características:**

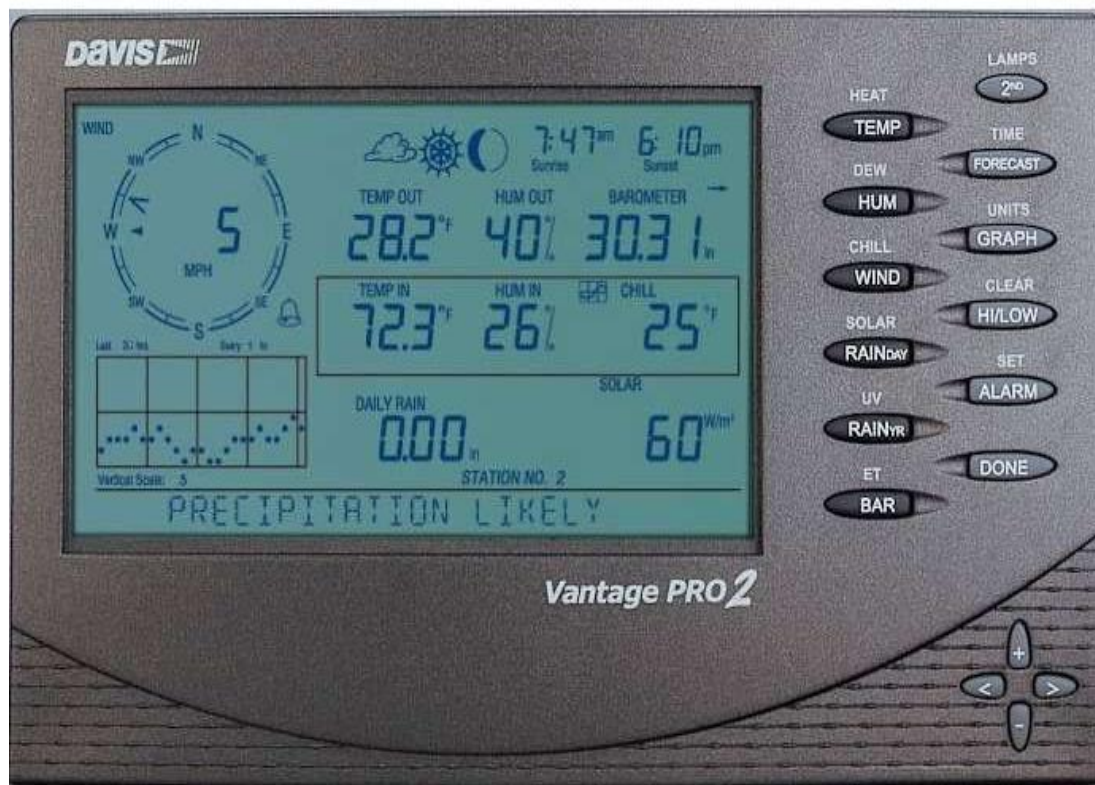
Unidad adquisidora externa con transmisión inalámbrica de datos hasta 300 mts. en campo abierto / Alimentación solar / Software WeatherLink con interface USB o RS232 y Data logger programable desde 1 a 120 minutos / Capacidad de

almacenaje: 2560 sets de datos / Con posibilidad de generar registros de sensores opcionales.

- **Rangos:**

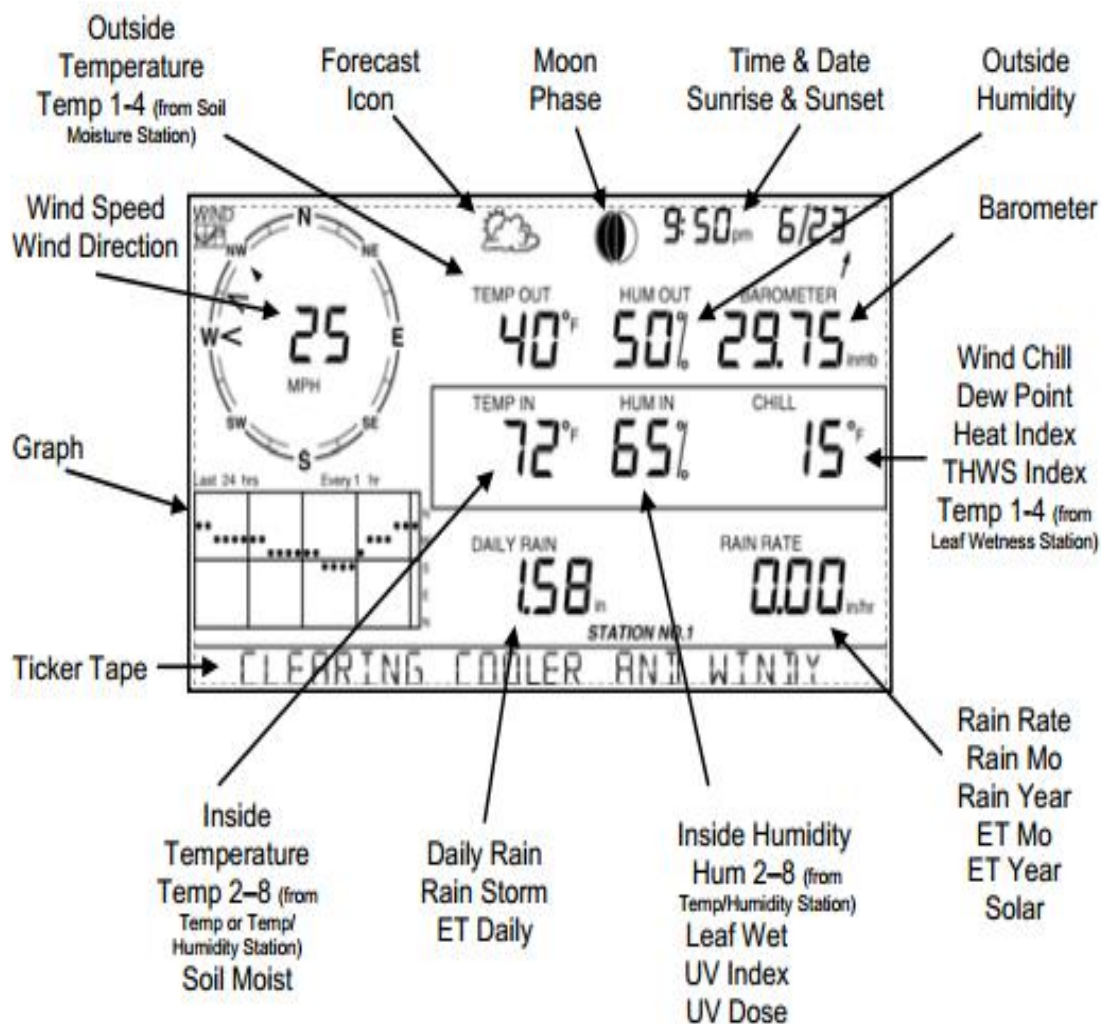
Temperatura:  $-40^{\circ}$  a  $+65^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.5^{\circ}$ ) - Humedad: 0 a 100% ( $\pm 3\%$ ) - Presión: 540 a 1100 ( $\pm 1.0$  hPa) - Velocidad del viento: 3 a 241 km / h ( $\pm 5\%$ ) - Dirección:  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  ( $\pm 4^{\circ}$ ) - Pluviometría: 0 a 9999 mm / d

Figura 12. Panel de visualización de instrumentos de la estación Vantage Pro2



Fuente: <http://xurl.es/jt8ly>

Figura 13. Descripción del panel de visualización de la estación Vantage Pro2



Fuente: DAVIS INSTRUMENTS CORP. [22]

Figura 14. Instrumentos de la estación Vantage Pro2



Fuente: DAVIS INSTRUMENTS CORP. [22]

## 6.2.11 Comunicación entre la plataforma de desarrollo y el sistema de visualización en el ordenador

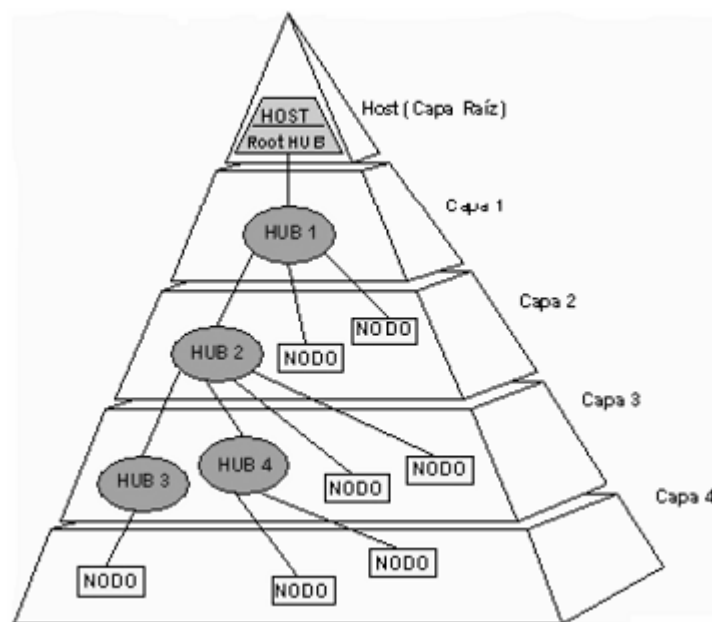
### 6.2.11.1 Estándar USB (Bus Serie Universal)

El USB es un estándar creado en 1995 por IBM, Intel, Northern Telecom, Compaq, Microsoft, Digital Equipment Corporation y NEC para definir la conexión de periféricos al ordenador. La principal característica que tiene es que la conexión es muy sencilla, ya que utiliza un único conector para conectar a través de un bus serie todos los dispositivos. La versión USB 1.0 soporta dos tasas de transferencia diferentes, una baja de 1,5 Mbps para la conexión de dispositivos

lentos de bajo coste (joysticks, ratones) y otra alta de hasta 12 Mbps para la conexión de dispositivos que requieren un mayor ancho de banda (discos o CDROMs).

A mediados del año 2000 aparece la versión 2.0, el cual permite alcanzar velocidades de 480 Mbps. Otra importante característica es la de ser compatible con la versión anterior y utilizar los mismos cables y conectores, con lo cual solo se necesitan nuevos hubs<sup>13</sup> que soporten la versión 2.0. Estos hubs son algo más complejos que los anteriores, ya que tienen que manejar el tráfico de datos de tres velocidades distintas sin ser excluyentes entre ellas.

Figura 15. Topología de una conexión USB



Fuente: PANIAGUA [23]

Posteriormente para Diciembre de 2008, el cumulo de empresas encargadas lideradas por Intel presentaron al mundo la segunda revisión del estándar USB, conocido como USB 3.0. (Ver figura 16)

<sup>13</sup> Dispositivo capaz de centralizar y ampliar el cableado de una conexión

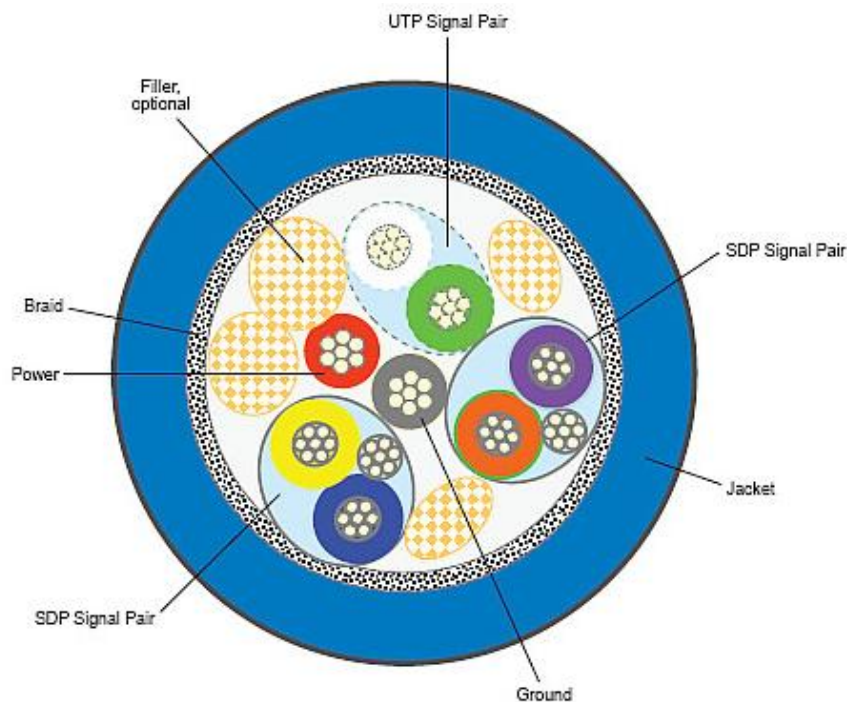
Figura 16. Logo oficial Universal Serial Bus High Speed (USB 3.0)



Fuente: <http://www.usb.org/>

Esta nueva versión posee como principal característica el disponer de cinco líneas, y no cuatro como su predecesora. Dos de ellas se usan para el envío de información y otras dos para la recepción, de forma que se permite el tráfico bidireccional, en ambos sentidos al mismo tiempo. Lo que se traduce en velocidad de transmisión, que va desde los 480 megabits por segundo hasta los 4.8 gigabits por segundo o, aproximadamente, 600 megabytes por segundo. (Ver figura 17)

Figura 17. Ilustración sección transversal Cable USB 3.0



U-005

Fuente: PANIAGUA [23]



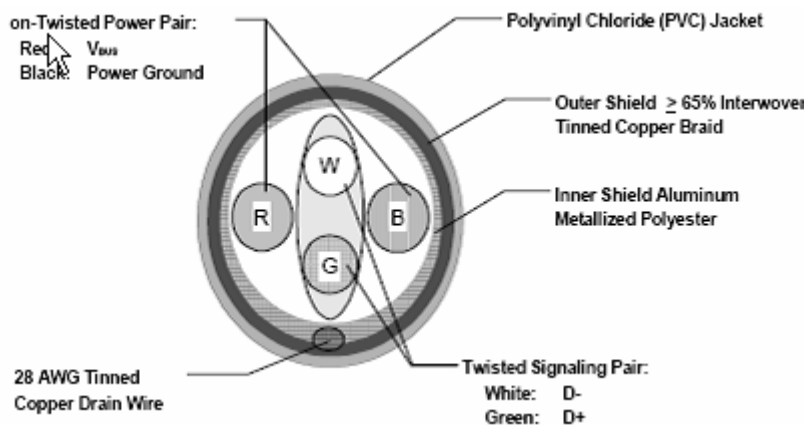
### 6.2.11.1.1 Conexión USB

Existe una gran variedad de dispositivos USB que se conectan todos al mismo bus.

La característica más importante es que todos ellos comparten el mismo tipo de cable y de conector. El host decide qué dispositivo puede acceder al bus, utilizando un protocolo parecido al de paso de testigo. Este protocolo se caracteriza porque entre los diferentes dispositivos se va pasando un identificador a lo largo del tiempo que permite la utilización del bus.

El USB define dos líneas para transmitir datos y otras dos para transmitir potencia (ver la figura 18). Para nuestro proyecto las líneas de alimentación (V<sub>bus</sub> GND) evitan la necesidad de utilizar fuentes de alimentación externas. Tiene una tensión de 5 V y la corriente se limita a un máximo de 500 mA, siendo el consumo y la configuración eléctrica lo necesario para correr el presente proyecto.

Figura 18. Sección del cable USB



Fuente: PANIAGUA [23]



#### 6.2.11.1.2 Proceso de detección y enumeración del dispositivo

Cuando se conecta un dispositivo al Hub USB, el Host Controller (HC) designa una dirección para el periférico y le reclama información para saber más sobre este sistema.

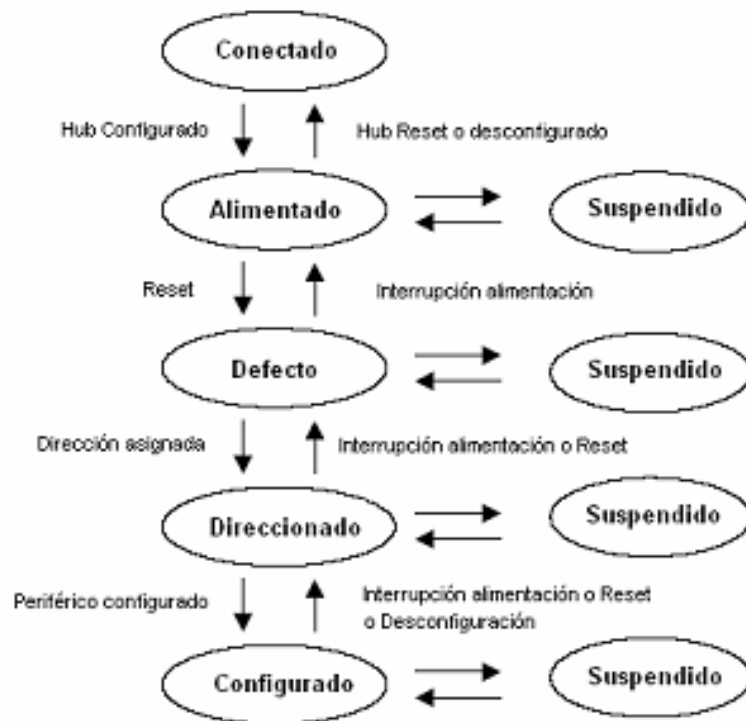
Todas las transmisiones se realizan en 1 milisegundo, esto quiere decir que en este espacio todos los periféricos tienen un margen asignado por el HC para recibir y enviar información. Durante el proceso de enumeración cada periférico informa al HC del ancho de banda que necesita para comunicaciones con ancho de banda garantizado (como pueden ser equipos de música que necesiten recibir información de forma continuada y de forma ininterrumpida). Si el ancho de banda que requiere el periférico no está disponible para la saturación del sistema se deniega al periférico el uso del bus. Es entonces cuando el driver puede pedir un ancho de banda inferior o esperar que éste esté disponible para poder funcionar.

También es trabajo del HC detectar cuando un periférico tiene problemas en la recepción o transmisión de información, en este caso avisa al driver que a la vez avisa a la aplicación que tendrá que tomar las medidas correspondientes para solucionar el problema.

Un driver es un programa de software específico que permite la comunicación con un dispositivo de hardware. Normalmente lo que el sistema operativo debe hacer es detectar e instalar el *Hardware DD* o *Device Driver*.

Gráficamente los estados por los que pasa el periférico son representados en la figura que se ve a continuación:

Figura 19. Diagrama de estados del periférico



Fuente: PANIAGUA [23]

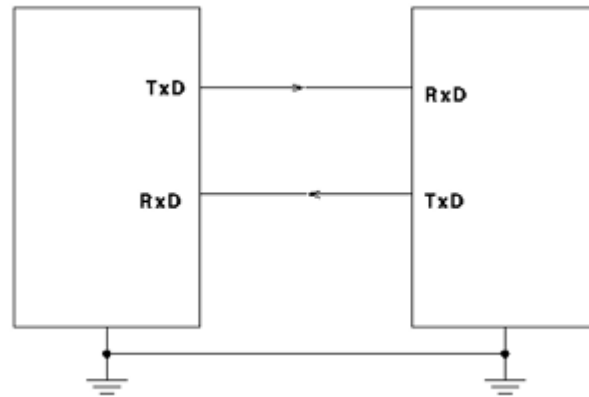
### 6.2.11.2 Comunicación Serial

La comunicación serial consiste en el envío de un bit de información de manera secuencial, es decir, un bit a la vez y a un ritmo acordado entre el emisor y el receptor.

Este tipo de comunicación se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra (o referencia), (2) Transmisión, (3) Recepción.

Debido a que la transmisión es asincrónica, o sea que la velocidad de envío debe ser acordada previamente, se pueden enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. Existen otras líneas disponibles para realizar *handshaking*, o intercambio de pulsos de sincronización, pero no son requeridas. Las características más importantes de la comunicación serial son la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada, y la paridad; ya que para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que estas características sean iguales. [24]

Figura 20. Comunicación asincrónica

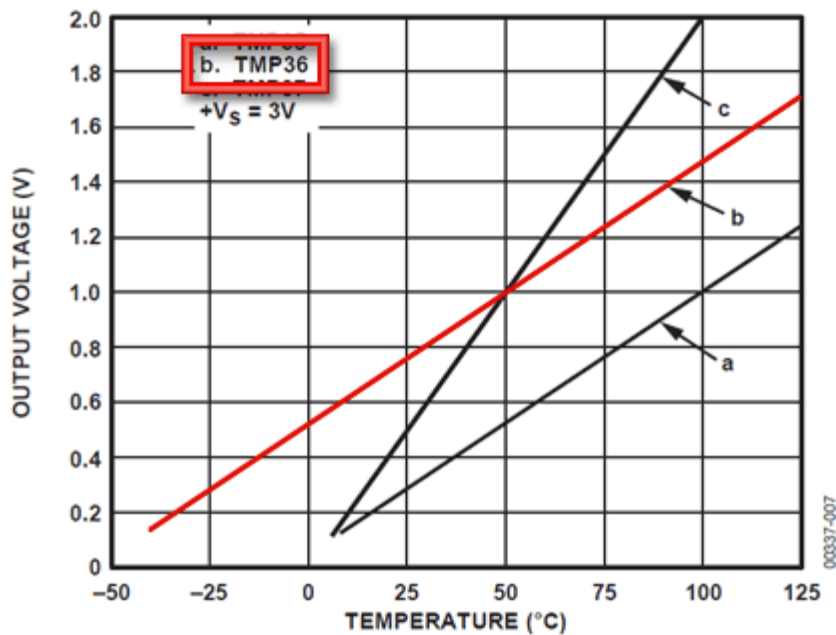


Fuente: <http://galaxi0.wordpress.com/el-puerto-serial/>

- **Velocidad de transmisión (baud rate):** Indica el número de bits por segundo que se transfieren, su unidad es en baudios (bauds).
- **Bits de datos:** Indica la cantidad de bits en la transmisión, es decir que cuando la computadora envía un paquete de información, el tamaño de ese paquete dependerá del tipo de información que se transfiere. Las cantidades más comunes de bits por paquete son 5, 7 y 8 bits
- **Bits de parada:** Indica el fin de la comunicación de un solo paquete. Los valores típicos son 1, 1.5 o 2 bits.
- **Paridad:** Indica la forma de verificación de errores en la transmisión serial. Existen cuatro tipos de paridad: par, impar, marcada y espaciada. La opción de no usar paridad alguna también está disponible. Para paridad par e impar, el puerto serial fijará el bit de paridad (el último bit después de los bits de datos) a un valor para asegurarse que la transmisión tenga un número par o impar de bits en estado alto lógico. La paridad marcada y espaciada fijan el bit de paridad en estado lógico alto para la marcada, y en estado lógico bajo para la espaciada. Esto permite al dispositivo receptor conocer de antemano el estado de un bit, lo que serviría para determinar si hay ruido que esté afectando de manera negativa la transmisión de los datos, o si los relojes de los dispositivos no están sincronizados.



Figura 22. Voltaje de salida vs Temperatura - Sensor TMP36



Fuente: <http://www.adafruit.com/images/tmp36graph.gif>

### Características

- Voltaje de Entrada: 2,7 V a 5,5 VDC
- Factor de Escala: 10 mV / °C
- Precisión:  $\pm 2^\circ \text{C}$
- Linealidad:  $\pm 0,5^\circ \text{C}$
- Rango de funcionamiento:  $-40^\circ \text{C}$  a  $+125^\circ \text{C}$

**Observaciones:** El TMP36 es el sustituto del LM335A<sup>14</sup>. Funciona como un diodo Zener<sup>15</sup> con un voltaje de corte proporcional a la temperatura absoluta. La salida del sensor es lineal por lo que no se necesita hacer cálculos de conversión.

<sup>14</sup> Sensor estándar de temperatura

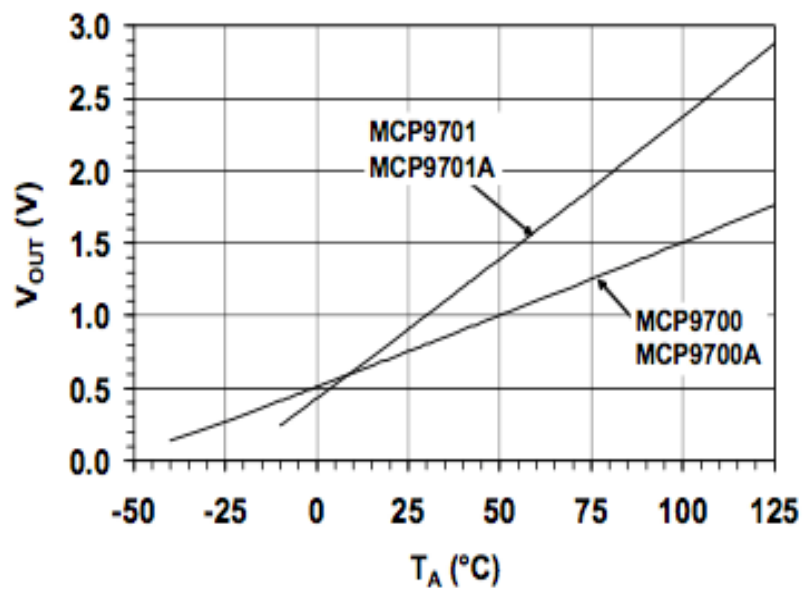
### 6.2.12.1.2 Sensor Temperatura MCP9700

Figura 23. Sensor Temperatura MCP9700



Fuente: <http://xurl.es/xmhev>

Figura 24. Voltaje de salida vs Temperatura - Sensor MCP9700



Fuente: <http://xurl.es/31dqz>

<sup>15</sup> Diodos polarizados inversamente, actúan como reguladores de tensión y como dispositivos de tensión constante

## Características

- Voltaje de Entrada: 2.3 V a 5.5 VCC
- Factor de Escala: -4°C/+6°C
- Precisión: ±4°C
- Rango de precisión: 0°C a +70°C
- Rango de funcionamiento: -40 °C a +150 °C

**Observaciones:** A diferencia del LM335A, el MCP9700 no necesita una tensión negativa de referencia para medir temperaturas negativas.

### 6.2.12.2 Sensores de Humedad

Para la elección del sensor de humedad se debe conocer los conceptos de humedad relativa.

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua existente en el aire con respecto a la máxima cantidad de vapor de agua contenida a una determinada temperatura ambiente. También a la humedad relativa se la puede definir como la relación entre las presiones de vapor existente en el ambiente y la presión de vapor de saturación

$$H_r = \frac{P_v}{P_{sat}} * 100[\%]$$

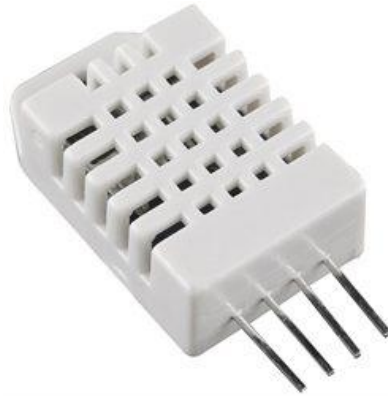
Donde  $P_v$  = Presión parcial de vapor y  $P_{sat}$  = Presión de vapor de saturación

Cabe destacar que la humedad relativa es uno de los factores que influyen en la comodidad humana, puesto que cuando es baja causa un exceso de pérdida del calor del cuerpo por evaporación de agua, y cuando es alta, el sudor se evapora con facilidad y el cuerpo no puede enfriarse adecuadamente. [25]

Una humedad relativa del 100% significa que en el ambiente no cabe más vapor de agua donde el cuerpo humano no puede transpirar causando una sensación de asfixia. Una humedad relativa de 0% implica un ambiente seco en el que el cuerpo humano transpira con facilidad.

#### 6.2.12.2.1 Sensor Humedad/ Temperatura RTH03 (DHT22)

Figura 25. Sensor Humedad/ Temperatura RTH03 (DHT22)



Fuente: <http://xurl.es/ic3g1>

#### Características

- Voltaje de Entrada: 3.3 a 6 VDC
- Rango de medición de humedad: 0-100%
- Rango de medición de temperatura: -40 a +125°C
- Precisión Humedad:  $\pm 2\%$  (Max  $\pm 5\%$ )
- Precisión Temperatura:  $\pm 0.2^\circ\text{C}$

#### 6.2.12.2.2 Sensor Humedad HIH-4030

Figura 26. Sensor Humedad HIH-4030



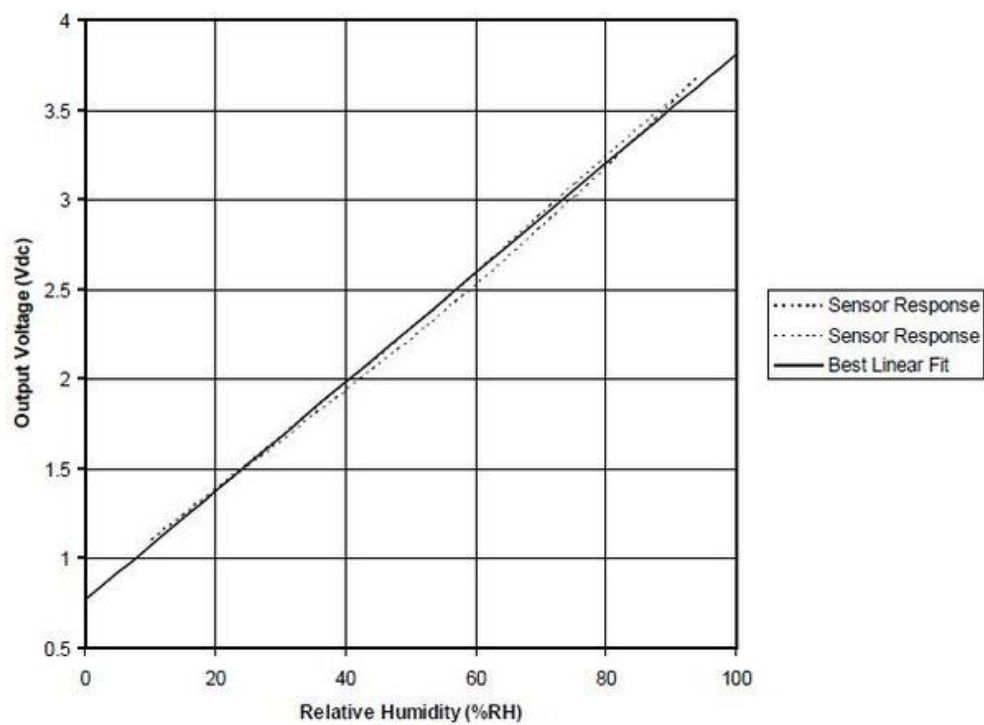
Fuente: <http://xurl.es/abhdr>



## Características

- Voltaje de Entrada: 4 V a 5.8 VDC
- Rango de medición de humedad: 0-100%
- Temperatura de operación: -40 °C - 85 °C
- Precisión:  $\pm 3.5\%$  de humedad relativa

Figura 27. Voltaje de salida vs Humedad relativa - Sensor HIH-4030



Fuente: <http://xurl.es/p8ngk>

### 6.2.12.3 Sensores Barométricos

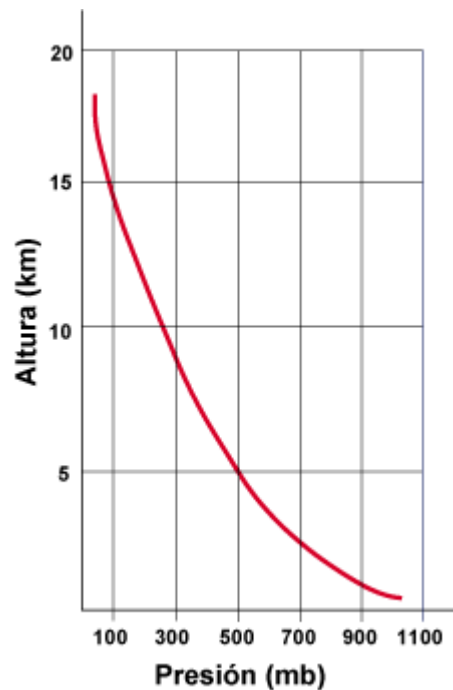
Para la elección del sensor de barométrico se debe conocer los siguientes conceptos [26]:

- **Presión atmosférica:** es la fuerza que ejerce el peso del aire (atmósfera) sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella. La presión atmosférica estándar, o presión promedio alrededor del nivel del mar, es estimada en 1013,25 hPa, lo cual es conocido como 1 atm o 1 atmósfera de presión. La presión atmosférica cambia con la altitud, a mayor altitud menor presión atmosférica, un aumento en altitud de 1000 m representa una disminución de presión atmosférica de aproximadamente 100 hPa. Como se muestra en la siguiente tabla y figura respectivamente:

Tabla 6. Altitud vs. Presión atmosférica

Altura Z (m)	Presión (hPa)
0	1013,25
1000	898,75
5000	540,21
10000	264,36
15000	120,45
20000	54,75

Figura 28. Gráfica Altura (km) vs Presión (mb)

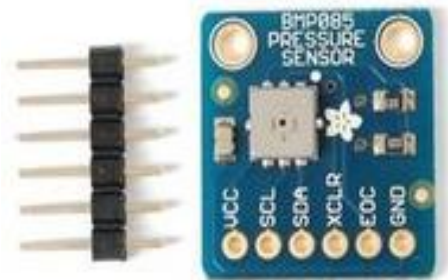


Fuente: <http://xurl.es/c4tlv>

- **Presión atmosférica normalizada:** presión ejercida por la atmósfera bajo condiciones normalizadas, igual a 1013,25 hPa (760 mmHg).
- **Presión barométrica:** presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local. La presión barométrica oscila alrededor de la presión atmosférica normalizada (1013,25 hPa).
- **Altitud:** Es la distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera y el nivel medio del mar.

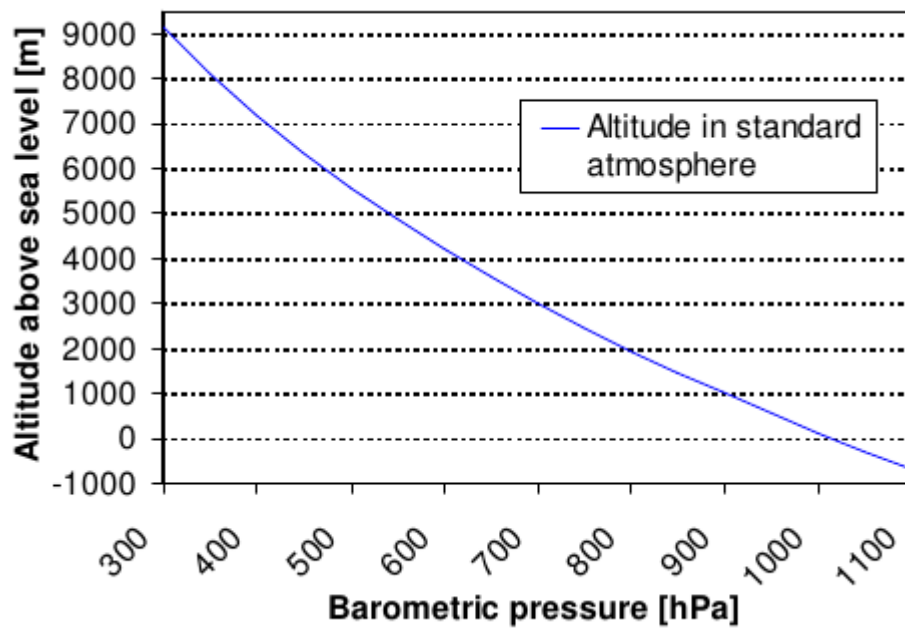
### 6.2.12.3.1 Sensor Barométrico BMP085

Figura 29. Sensor Barométrico BMP085



Fuente: <http://xurl.es/mey4p>

Figura 30. Altitud vs Presión Barométrica - Sensor BMP085



Fuente: Datasheet Sparkfun. Enlace Oficial: <http://xurl.es/94fp1>

## Características

- Voltaje de Entrada: 3.3 V a 5 VDC
- Factor de Escala: 0.03hPa / 0.25m
- Precisión Temperatura:  $\pm 2$  °C
- Rango de medición de presión: 300 a 1100hPa
- Rango de altitud: 900m-500m sobre el nivel del mar

### 6.2.12.3.2 Sensor Barométrico MPL115A1

Figura 31. Sensor Barométrico MPL115A1



Fuente: <http://xurl.es/dp3fl>

## Características

- Voltaje de Entrada: 2,7 V a 5,5 VCC
- Factor de Escala: 10 mV / °C
- Precisión:  $\pm 2$  °C
- Linealidad:  $\pm 0,5$  °C
- Rango de funcionamiento: -40 ° C a +125 °C

### 6.2.13 Técnicas estadísticas

Son un conjunto de métodos o estudios que se utilizan para analizar la información estadística. [27] Las principales técnicas estadísticas empleadas son:

- **Análisis de medición:** También referido como “incertidumbre de análisis de medición”, es un conjunto de procedimientos que permite evaluar la incertidumbre de medición bajo el intervalo de condiciones en que un sistema opera.
- **Análisis de capacidad de procesos:** Es el estudio de la variabilidad y distribución de un proceso, para determinar la confiabilidad que dicho proceso produce a su salida elementos conformes de acuerdo a la variación permitida por las especificaciones.
- **Muestreo:** Es una metodología estadística sistemática para obtener información acerca de algunas características de una población por estudio de una fracción representativa.
- **Tolerancias estadísticas:** Llamados también como límite de especificaciones, está generalmente compuesto de tres factores fundamentales: a) la variabilidad del proceso, b) seguridad del cliente, c) incertidumbre de medición. En algunos casos también se considera un margen de seguridad para condiciones aleatorias que generalmente son atribuibles a las condiciones ambientales.
- **Estadística descriptiva:** Dicho término se refiere a procedimientos para manipulación y presentación de datos cuantitativos de una manera que infiera para determinar las características de la distribución de los datos.
- **Cartas de control estadístico (SPC):** Una carta SPC o carta de control son gráficos de datos provenientes de muestras que son periódicamente procesadas en secuencia de un sistema de medición, dichas cartas SPC son usadas para detectar cambios en el proceso, de acuerdo a los datos medidos y muestreados se establecen diferentes aplicaciones tipos de cartas de control que conllevan a estudios específicos.
- **Diseño de experimentos:** Referido a la investigación y planeación de una manera que los resultados de dichos experimentos puedan revelar el nivel de confianza, existen varias técnicas que pueden ser usadas en el diseño de

experimentos, una de las técnicas más conocidas son “análisis de varianza” (ANOVA).

- **Pruebas de hipótesis:** Es un procedimiento para prescribir un nivel de riesgo, de un conjunto de datos (típicamente de una muestra), es compatible con una hipótesis dada.
- **Análisis de regresión:** Relaciona el comportamiento de las características de interés (llamado usualmente la “respuesta de la variable”) con factores casuales potenciales.
- **Análisis de confiabilidad:** Es la aplicación de ingeniería y métodos analíticos para establecer, predecir y asegurar un proceso libre de problemas en un intervalo dado de tiempo, bajo un sistema de estudio de producto.
- **Simulación:** Es un término colectivo de procedimientos por el que un sistema dinámico o proceso es representado por un modelo matemático, del cual se utiliza un programa de computadora para la solución del problema, en estos conceptos se involucran las teorías de probabilidad, en particular las variables aleatorias. Independientemente del modelo utilizado, siempre se deberá establecer la validez del modelo (es decir se tendrá que realizar la parte práctica de medición).
- **Análisis de series de tiempo:** Es una familia de métodos para estudiar una colección de datos secuenciales sobre el tiempo. Son usados para planeación, en control de ingeniería, para identificar cambios en un proceso y en general para medir los efectos del proceso debidos a una acción externa o acción inducida.

#### 6.2.14 Estudios de repetibilidad y reproducibilidad r&R

Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad (r&R) tratan de analizar la variación entre el método de medición y los distintos factores que pueden realizar estas mediciones.

Para ello se debe distinguir los métodos de repetibilidad y reproducibilidad, ambas fuentes de la variación del proceso como lo indica la figura 34.

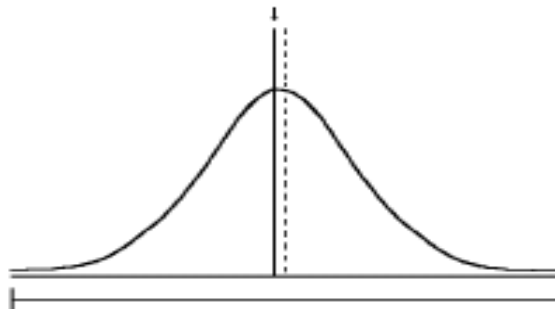
##### 6.2.14.1 Repetibilidad de mediciones (r)

Según la VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) [28]: la repetibilidad de resultados de mediciones es:

“La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición”. Es decir:

- Estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad.
- Las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar, repetición en un periodo corto de tiempo.
- La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.

Figura 32. Trazado de curvatura de repetibilidad



Fuente: (VIM) [28]



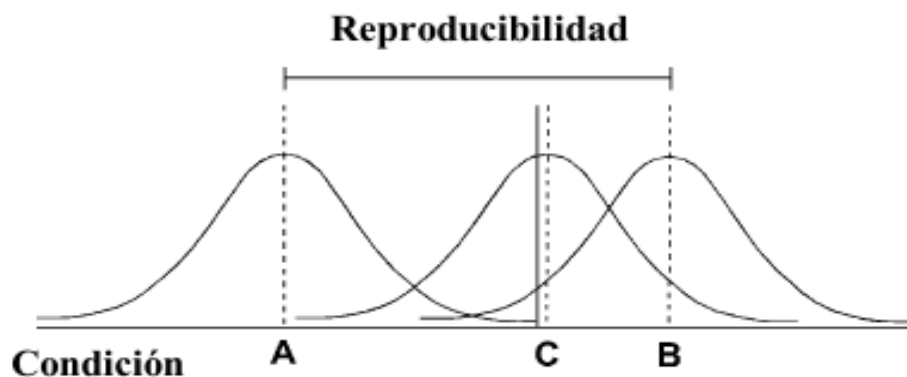
#### 6.2.14.2 Reproducibilidad de mediciones (R)

Según la VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) [28]: la reproducibilidad de resultados de mediciones es:

“La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian”. Es decir:

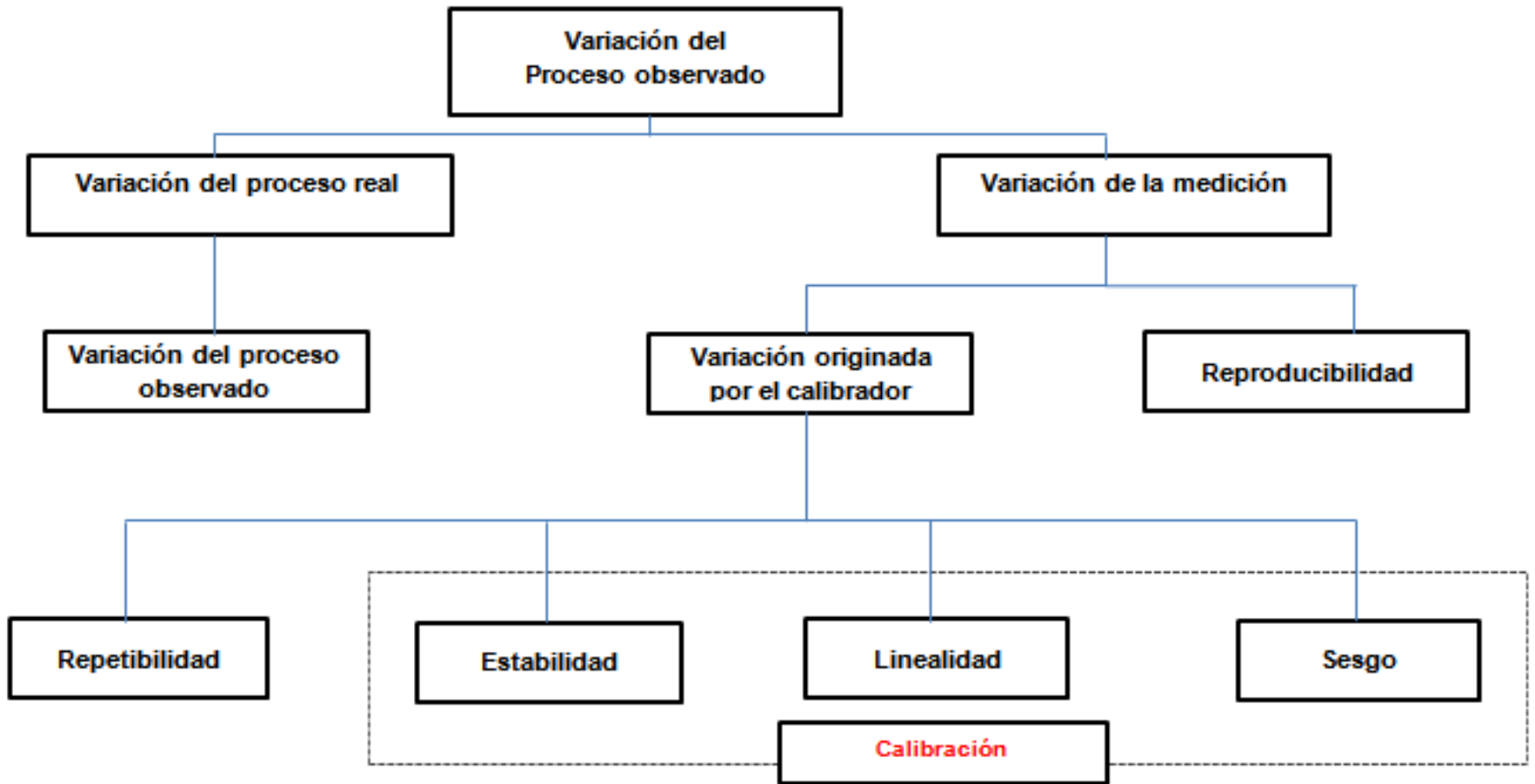
- Una declaración válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición que cambia.
- Las condiciones que cambian pueden incluir: principio de medición, método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de uso, tiempo.
- La reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.
- Se entiende que los resultados usualmente son resultados corregidos.

Figura 33. Trazado de curvatura de reproducibilidad



Fuente: (VIM) [28]

Figura 34. Fuentes de la Variación del Proceso



Fuente: MSA [29]

### 6.2.14.3 Aplicaciones en Metrología

En metrología las aplicaciones de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad encuentran aplicación en los procesos de evaluación, validación y análisis de las mediciones, estas aplicaciones son entre otras: [27]

- Evaluación de ensayos de aptitud.
- Validación de métodos de calibración.
- Análisis de comparaciones inter-laboratorio.
- Evaluación de la incertidumbre de medición.
- Evaluación de cartas de control.
- Conocer la variabilidad de mediciones e instrumentos.
- Evaluación de la deriva (estabilidad) de instrumentos.

### 6.2.14.4 Métodos para la determinación de r&R

Los métodos aceptables para la determinación de estudios de repetibilidad y reproducibilidad se basan en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, ya sea en forma de rango estadístico (máximo - mínimo) o su representación como varianzas o desviaciones estándar, estos métodos son:

- **Rango**

Este método permite una rápida aproximación a la variabilidad de las mediciones, no descompone la variabilidad en repetibilidad y reproducibilidad, su aplicación típica es como el método rápido para verificar si la relación r&R no ha cambiado.

Según la MSA<sup>16</sup> este método permite detectar sistemas de medición no aceptables el 80 % de las veces con una muestra de solo 5 mediciones y el 90 % de las veces con una muestra de apenas 10 mediciones.

- **Promedio y Rango**

Este método permite una estimación tanto de repetibilidad como reproducibilidad, sin embargo, no permite conocer su interacción, esta interacción entre la repetibilidad y la reproducibilidad o entre el instrumento y el operador puede conocerse en caso de que exista con el método de ANOVA.

---

<sup>16</sup> Término derivado de las siglas en inglés *Measurement Systems Analysis*.

- **Análisis de la varianza (ANOVA)**

El análisis de la varianza (ANOVA)<sup>17</sup> son un conjunto de técnicas ideadas por Ronald A. Fisher<sup>18</sup> en 1925, que permiten a partir de una variable numérica cuantitativa (resultado), determinar en qué medida se puede atribuir la variabilidad de ésta a otra variable cualitativa nominal (factor). Este planteamiento es conocido como análisis de la varianza para un solo factor, pero puede tener 2 o más categorías o niveles.

Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés. [30]

El ANOVA requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

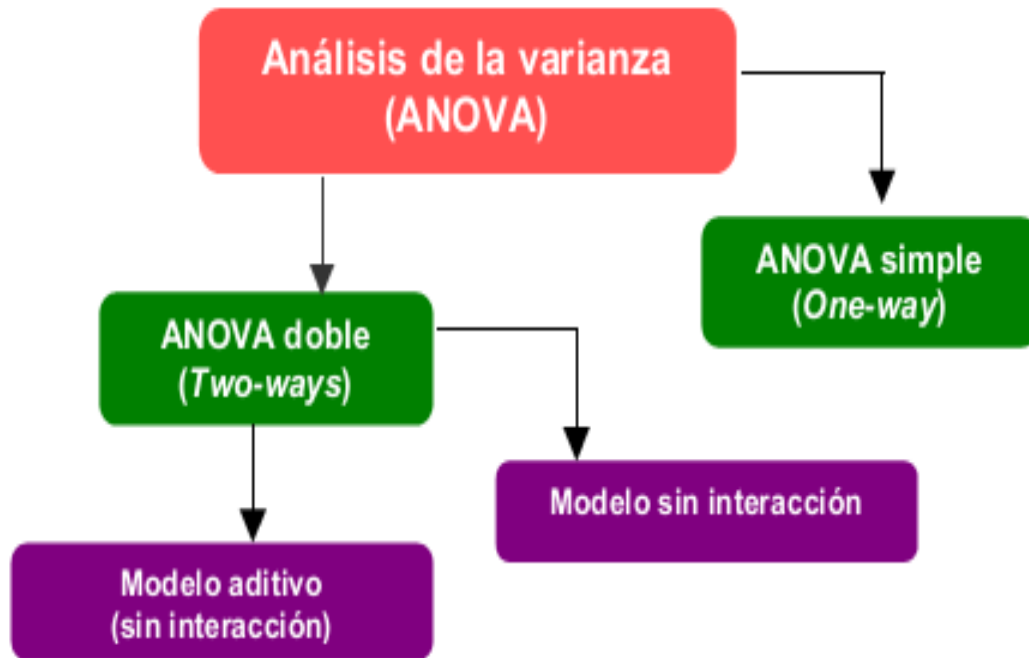
- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homocedasticidad).

---

<sup>17</sup> Término derivado de las siglas en inglés *Analysis of variance*

<sup>18</sup> Reconocido científico, matemático y estadístico inglés. Sus aportes también conciernen la biología y la genética evolutiva.

Figura 35. Esquema de contenidos ANOVA



Fuente: TERRADEZ [30]

Las ventajas de la técnica de ANOVA comparada con el método de Promedio y Rango son:

- Es posible manejar cualquier arreglo o estructura experimental
- Es posible estimar las varianzas más exactamente.
- Se obtiene mayor información de los datos experimentales.
- Permite conocer la interacción entre la repetibilidad y la reproducibilidad.

Las desventajas son que su computación numérica es más compleja, desventaja que sin embargo puede ser resuelta mediante el uso de herramientas de análisis de datos.

## 6.2.15 Herramientas Especializadas de Análisis de Datos

Dentro de la gama de aplicaciones para el análisis y procesamiento de datos, se destacan las siguientes herramientas:

### 6.2.15.1 SPSS

El SPSS es una potente aplicación de análisis estadísticos de datos.

“Originalmente SPSS fue creado como el acrónimo *de Statistical Package for the Social Sciences* aunque también se ha referido como "*Statistical Product and Service Solutions*". Sin embargo, después de ser adquirido por IBM el 28 de junio de 2009 y la inclusión en una completa suite de software (IBM SPSS) su denominación no es acrónimo de nada” [31]

Cuenta con una amplia capacidad de procesamiento de datos, siendo posible proveer funciones adicionales a través de módulos complementarios que pueden ser incorporadas fácilmente.

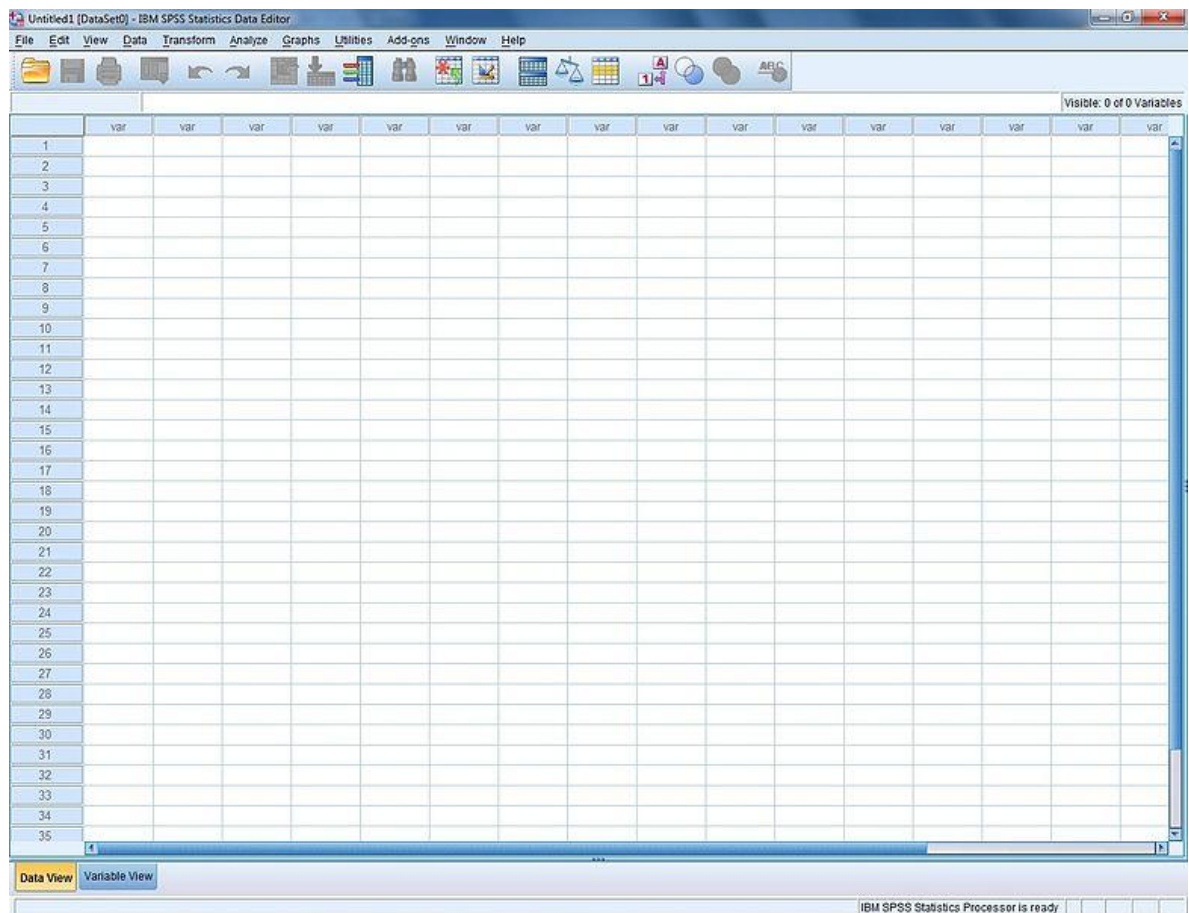
Actualmente es un software con licencia privativa y de soporta múltiples plataformas, permitiendo estar presente en los principales sistemas operativos (Mac OS X, Linux [Red Hat –RHEL], Windows XP, 7). El 23 de octubre de 2012 fue lanzada la versión 21.0.0

Figura 36. Logo oficial de SPSS.



Fuente: <http://www.gnu.org/software/pspp/pspp.html>

Figura 37. Interfaz de SPSS 19, sobre el SO Windows 7



Fuente: <http://xurl.es/x1376>

### 6.2.15.2 PSPP

PSPP es una versión simplificada del software SPSS. Se destaca por ser software libre y gratuito. Entre sus características se encuentran funcionalidades básicas como: frecuencias, tablas cruzadas, comparación de media; regresión lineal, fiabilidad, reordenamiento de datos, pruebas no paramétricas, factor de análisis entre otras.

Actualmente soporta más de 1 mil millones de casos y más de 1000 millones de variables.

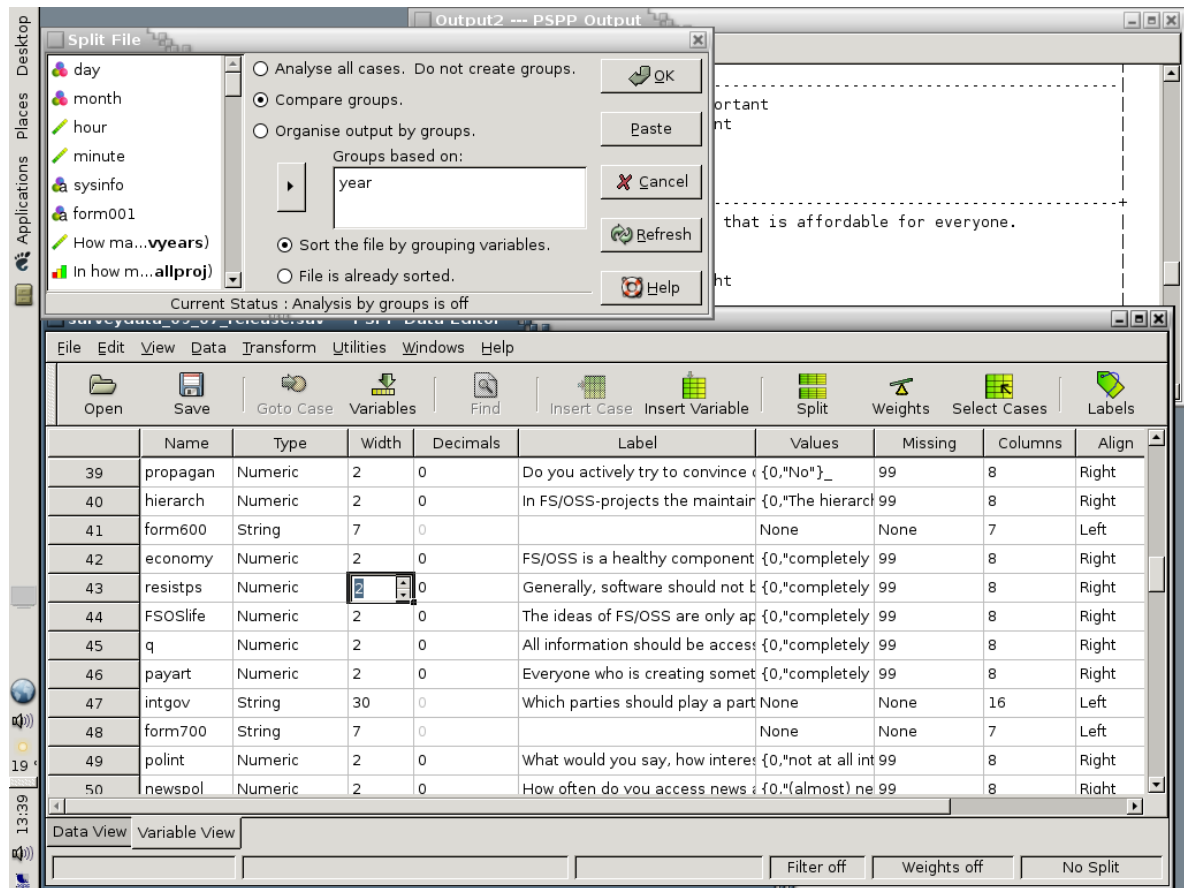
Permite funcionar como software multiplataforma, y para la fecha de esta investigación se encuentra en su versión 0.80.

Figura 38. Logo oficial del proyecto PSPP



Fuente: <http://www.gnu.org/software/pspp/pspp.html>

Figura 39. Interfaz del proyecto PSPP, sobre el SO GNU/Linux



Fuente: <http://www.gnu.org/software/pspp/tour.html>



### 6.2.15.3 MINITAB

*MINITAB* es un programa privativo que permite ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Sólo funciona en Windows.

El programa incorpora opciones vinculadas a las principales técnicas de análisis estadístico (análisis descriptivo, contrastes de hipótesis, regresión lineal y no lineal, series temporales, análisis de tiempos de fallo, control de calidad, análisis factorial, ANOVA, análisis cluster, entre otras), además de proporcionar un potente entorno gráfico y de ofrecer total compatibilidad con los editores de texto, hojas de cálculo y bases de datos más usuales.

Fue desarrollado en 1972 por tres profesores de Estadística de Penn State University.

Actualmente se encuentra en su versión 16; siendo usado por más de 450 empresas de la clasificación Fortune 500, y prácticamente todas las organizaciones importantes de consultoría y capacitación para el mejoramiento de la calidad, por lo cual se convierte en una herramienta imprescindible para implementar el manejo de los datos.

Los costes de sus licencias están descritos en la siguiente tabla:

Tabla 7. Coste de licencias anuales por número de usuarios

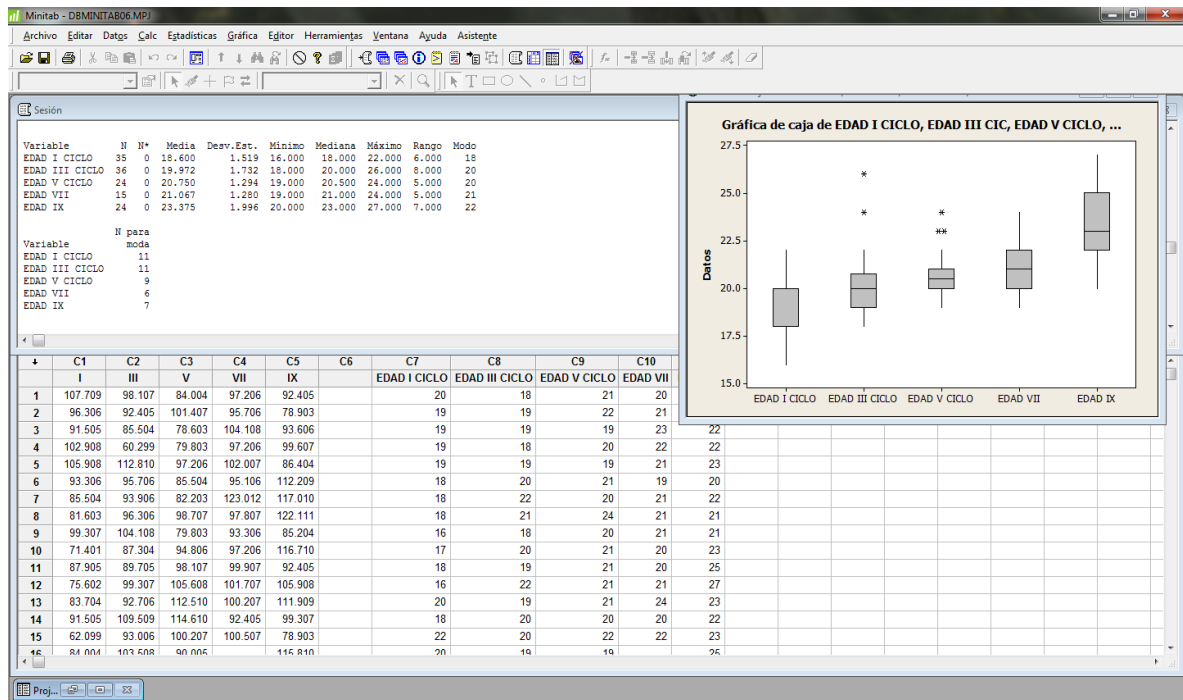
Número de usuarios	Costo anual de licencia	Costo anual de licencia con entrenador calificado
5	2.296 €	3.099,60 €
10	3.649 €	4.926,20 €
15+	Comunicarse con la empresa para recibir una cotización formal.	

Figura 40. Logo oficial del software MINITAB



Fuente: <http://www.minitab.com/es-MX/default.aspx>

Figura 41. Interfaz de MINITAB v16, sobre el SO Windows 7



Fuente: <http://xurl.es/kwd3h>

#### 6.2.15.4 STATGRAPHICS

**STATGRAPHICS** es un potente software estadístico con única versión para Windows. Fue desarrollado en 1980 por Neil Polhemus. Actualmente su más reciente versión fue lanzada en octubre de 2009, con nombre en clave *Centurion XVI*.

Se destaca por sus capacidades para la representación gráfica de todo tipo de estadísticas y el desarrollo de experimentos, previsiones y simulaciones en función del comportamiento de los valores.

Posee cuatro módulos principales: un editor estadístico (*StatReport*) que prepara informes con datos variables; un asistente estadístico (*StatWizard*) para recopilar y analizar datos; y un enlace estadístico (*StatLink*) que enlaza el libro de análisis (*Statfolio*) con la fuente de datos.

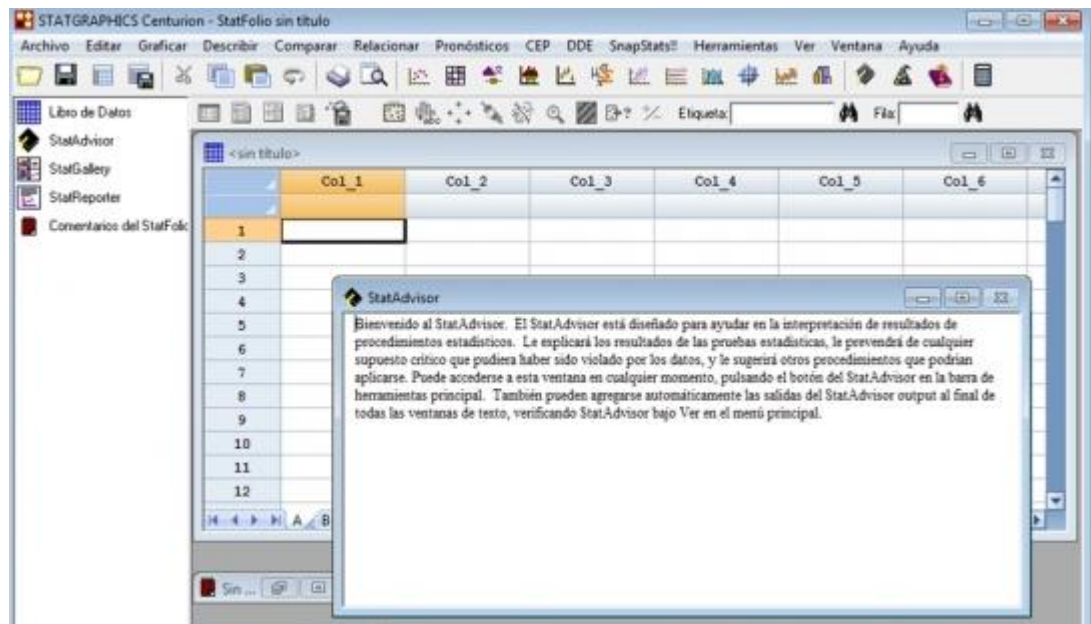
El coste de su licencia va desde los \$695 para la versión más sencilla dólares hasta los \$1495 dólares para la versión avanzada.

Figura 42. Logo oficial del software STATGRAPHICS.



Fuente: <http://www.statgraphics.com/>

Figura 43. Interfaz de STATGRAPHICS Centurion, sobre el SO Windows 7



Fuente: <http://xurl.es/s22pj>

### 6.2.15.5 EXCEL

*EXCEL* es una popular aplicación distribuida por Microsoft, bajo la suite ofimática *Microsoft Office* para los sistemas Windows – Mac OS X. Microsoft publicó la primera versión de Excel para Mac en 1985, y la primera versión de Windows en noviembre de 1987. Actualmente se encuentra en su versión 15, lanzada bajo la suite Office 2013.

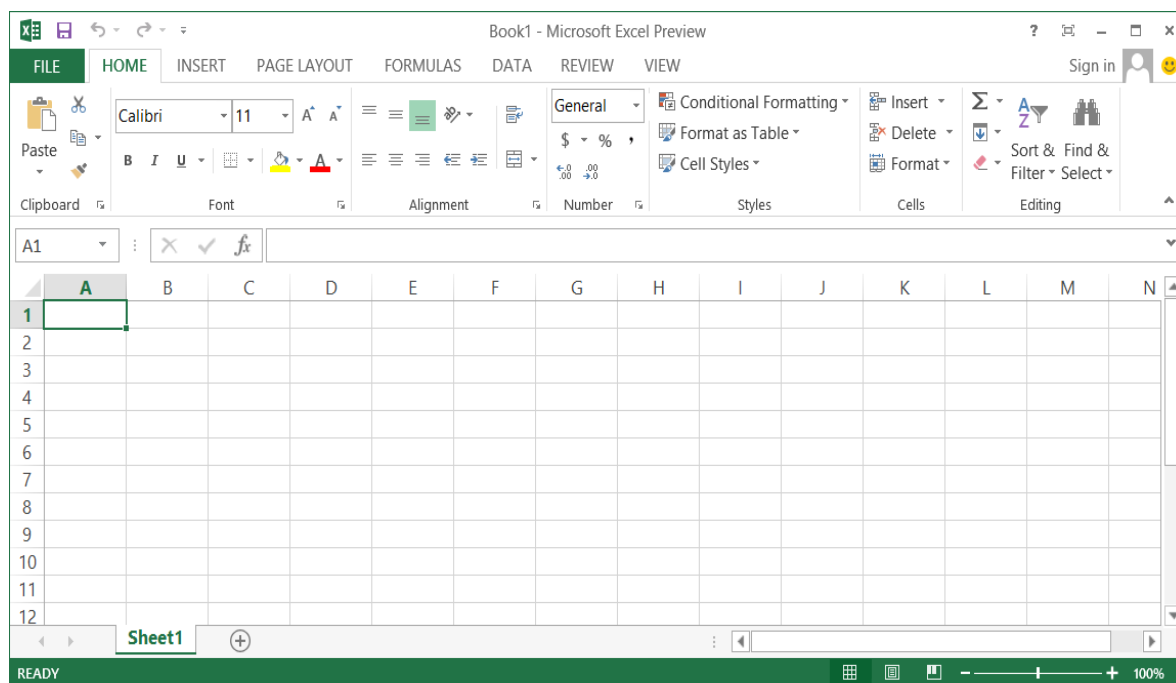
Además de sus conocidas funciones contables, *EXCEL* también proporciona un conjunto de herramientas de análisis de datos, denominadas Herramientas para análisis, gracias funciones de macros de ingeniería o estadísticas apropiadas.

Figura 44. Logo oficial del software EXCEL



Fuente: <http://xurl.es/tc0s8>

Figura 45. Interfaz de EXCEL 2013, sobre el SO Windows 7



Fuente: <http://xurl.es/kfvpz>

## **7. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de estudio efectuado es de tipo descriptivo [32], puesto que permite realizar un levantamiento de la situación actual en lo referente a la utilización de sensores para mediciones meteorológicas y los diversos sistemas de comunicaciones, en el proceso de identificación de los sistemas de transmisión y recepción de datos empleados para la comunicación y transferencia de información entre los sensores y la estación meteorológica.

Por tal motivo, estos estudios proporcionaron fundamentos válidos para el diseño, construcción y pruebas efectuadas; permitiendo mejorar la capacidad de respuestas por parte de los entes reguladores en caso de emergencias con base a la información obtenida por los sensores de la plataforma meteorológica, además de lograr minimizar los problemas consecuentes a las fuertes temporadas de lluvias en épocas de invierno.

Además de ello, la presente investigación se encuentra enmarcada de forma general dentro de la línea que soporta el grupo de investigación de ingeniería electrónica de la Universidad de la Costa, CUC, GIACUC, denominada tecnología en sistemas electrónicos, posicionando la investigación dentro del área clave Sistemas de comunicaciones y del programa Comunicaciones móviles e inalámbricas. Asimismo la presente investigación, se encuentra estructurada con base a las asignaturas contenidas en dicho modelo, como lo indica la Figura 45.

### **7.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE HARDWARE LIBRE**

Esta metodología de desarrollo fue elaborada por el Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres de Venezuela (CENDITEL<sup>19</sup>) para adaptar los planteamientos pertinentes a los procesos de Desarrollo de Hardware Libre.

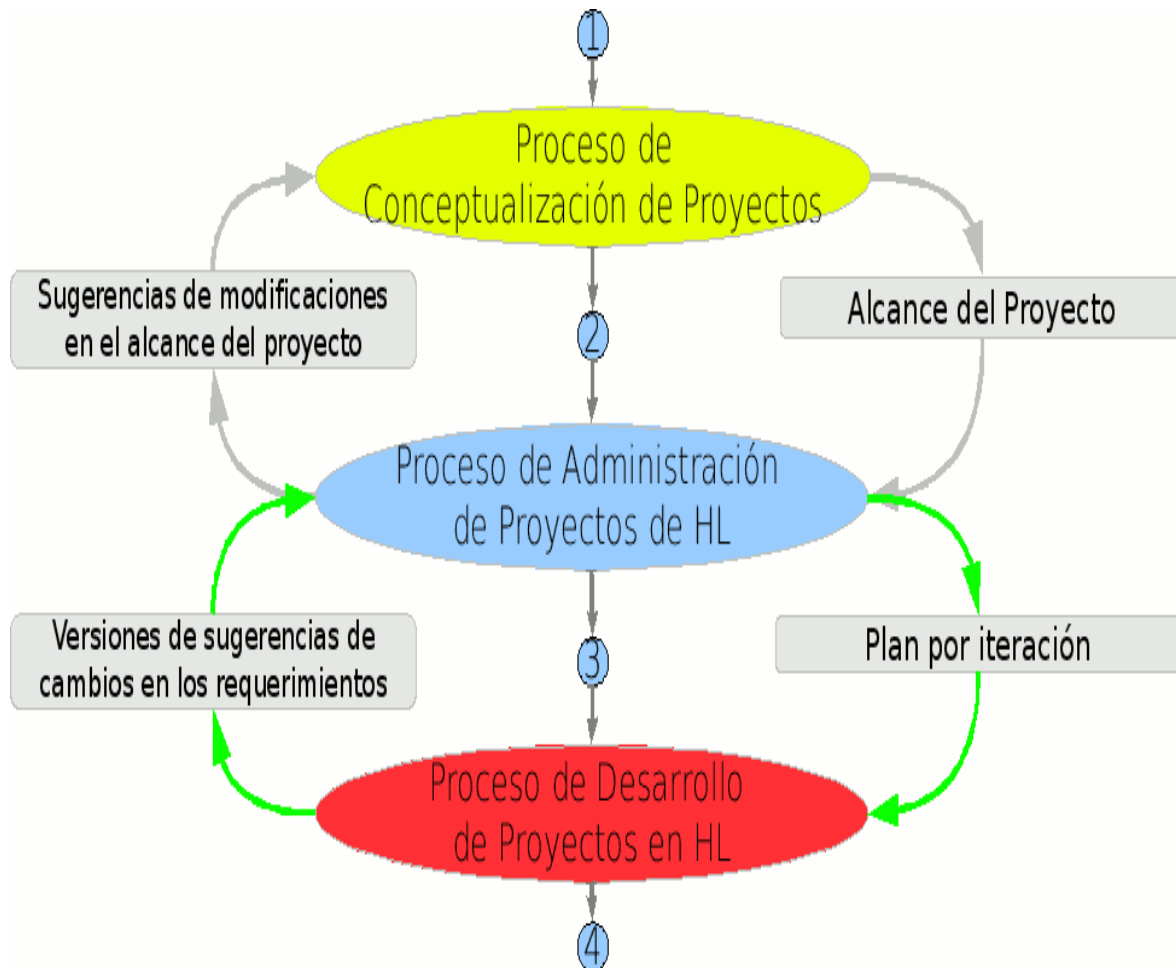
La metodología posee tres procesos:

- Proceso de conceptualización: busca delimitar los alcances que se quiere para el proyecto en estudio.
- Proceso de administración: busca la planificación para el diseño, fabricación y pruebas del dispositivo.
- Proceso de desarrollo: busca especificar los pasos que en principio se deben cumplir, dependiendo de la naturaleza del dispositivo.

---

<sup>19</sup> Enlace web oficial: <http://www.cenditel.gob.ve/>

Figura 46. Descripción procesos metodología de desarrollo de hardware libre



Fuente: CENDITEL - Enlace Oficial: <http://hl.cenditel.gob.ve/intro/metodologia/>

Finalmente para llevar a cabo esta investigación se cumplieron las actividades enmarcadas en las siguientes fases

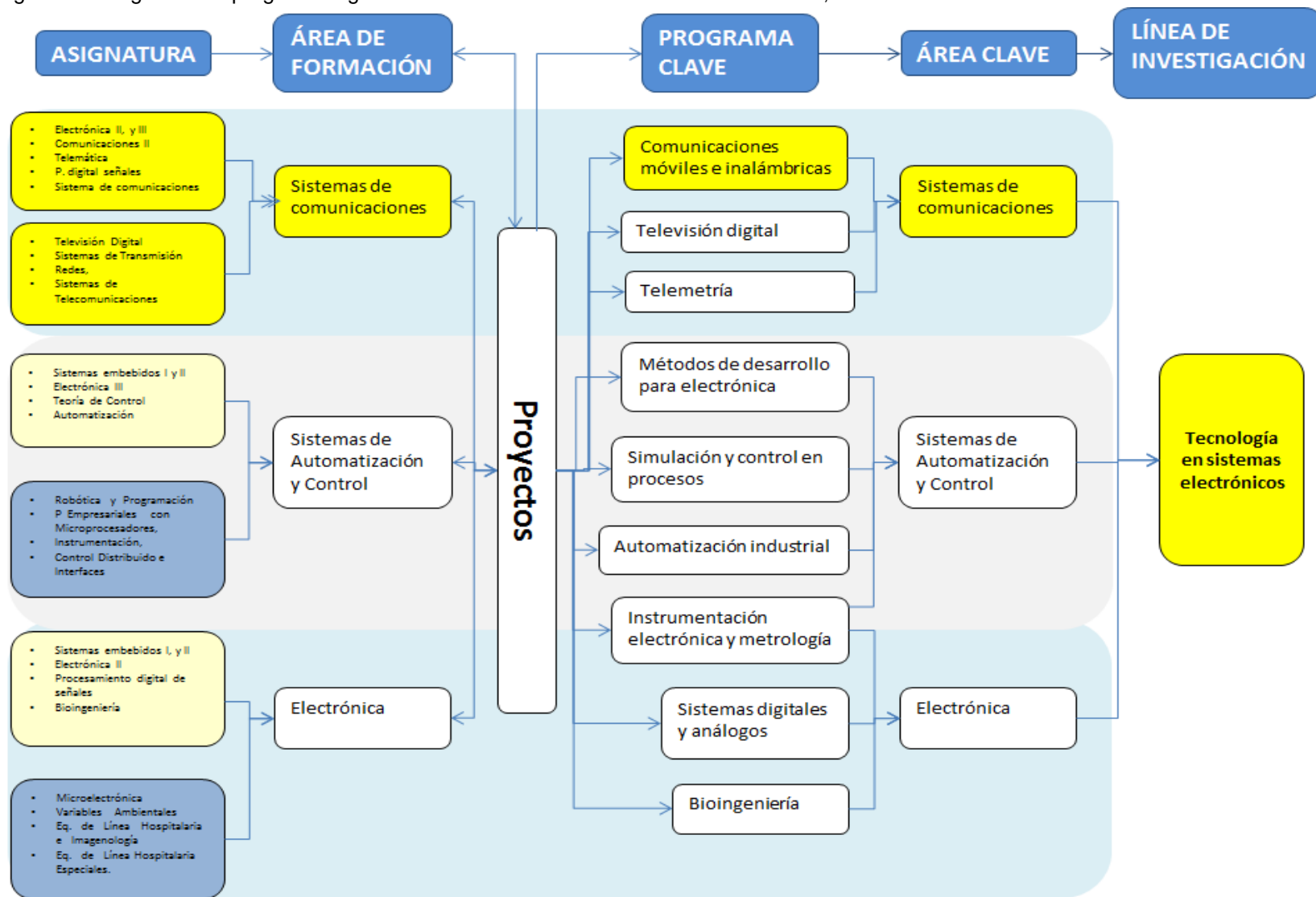
Tabla 8. Fases-Actividades Investigación

Fases	Actividades
Evaluar las ventajas y desventajas del manejo de plataformas de desarrollos abiertas para el análisis y adquisición de datos de variables ambientales.	Analizar las características de las plataformas de desarrollos abiertas para el análisis y adquisición de datos de variables ambientales.
	Estudiar las ventajas y desventajas del manejo de plataformas de desarrollo abiertas.
Identificar los factores que tienen mayor influencia sobre las variables de respuesta (temperatura, humedad y presión atmosférica).	Determinar los factores y su influencia en las variables de respuesta.
Determinar los dispositivos electrónicos apropiados para el manejo de datos y respuestas del sistema para la implementación de la estación meteorológica.	Definir los sensores y transductores apropiados la adquisición y medición de las variables a capturar.
	Acoplar las tecnologías de comunicaciones entre el ordenador y la plataforma para la monitorización de los datos adquiridos.
Reducir la variabilidad de respuesta garantizando el rendimiento y estabilidad del prototipo	Determinar el tamaño de la muestra y el número de réplicas para el experimento factorial.
	Precisar el resultado a generar por el análisis de varianza mediante la herramienta estadística Minitab.

Elaborar un prototipo de estación meteorológica que permita recoger las señales de los sensores y transductores a implementar para la medición de variables ambientales.	Construir el montaje de los elementos y dispositivos para la disposición del prototipo final
	Efectuar pruebas de hardware para comprobar el adecuado funcionamiento y sincronización de los elementos y las variables involucradas.
Calibrar los elementos escogidos con un instrumento certificado que corrobore la información suministrada mediante la adquisición de datos.	Seleccionar los instrumentos adecuados para el proceso de medición y calibración de los datos suministrados por el prototipo.
	Verificar los certificados de calibración de los instrumentos de medición a emplear.
	Realizar pruebas en entornos para estabilizar las mediciones de las variables de temperatura, humedad y presión atmosférica.



Figura 47. Diagrama del programa Ingeniería Electrónica de la Universidad de la Costa, CUC



## **8. DELIMITACIONES**

### **8.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL**

Este proyecto se desarrollara en la ciudad de Barranquilla concretamente en los laboratorios del programa de Ingeniería Electrónica/Industrial de la Corporación Universidad de la Costa.

### **8.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL**

Las actividades que se desarrollaran para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto conllevaran un tiempo máximo de 6 meses, en donde se discriminan en el siguiente cronograma:

Tabla 9. Cronograma de actividades

Fases	Actividades	Agosto					Septiembre					Octubre					Noviembre					Diciembre				
		S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5
Evaluar las ventajas y desventajas del manejo de plataformas de desarrollos abiertas para el análisis y adquisición de datos de variables ambientales.	Analizar las características de las plataformas de desarrollos abiertas para el análisis y adquisición de datos de variables ambientales.																									
	Estudiar las ventajas y desventajas del manejo de plataformas de desarrollo abiertas.																									
Identificar los factores que tienen mayor influencia sobre las variables de respuesta (temperatura, humedad y presión atmosférica).	Determinar los factores y su influencia en las variables de respuesta.																									
Determinar los dispositivos electrónicos apropiados para el	Definir los sensores y transductores apropiados la adquisición y																									





## 9. RESULTADOS

### 9.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 9.1.1 Evaluación de las plataformas de desarrollo para el análisis y adquisición de datos de las variables ambientales

"Los criterios para escoger una plataforma de desarrollo están íntimamente ligados a las necesidades y perfil del usuario. Sin embargo, lo ideal es que la plataforma tenga los atributos necesarios para el proyecto en cuestión (velocidad del procesador, memoria disponible, consumo de energía, etc.) y que incorpore los circuitos y puertos para los dispositivos externos (sensores, módems GSM, Bluetooth, etc.) requeridos por el proyecto en cuestión, ya que esto permitirá un ahorro sustancial en el tiempo de desarrollo del producto definido por el usuario", afirma Paul Aguayo, Gerente General de Ingeniería MCI<sup>20</sup>

A partir de las anteriores directrices, se revisaron las características técnicas, las necesidades de hardware y la documentación referencial, y se seleccionó dentro de la gama de plataformas que se ofrecen en el mercado (ver Tabla 5), la plataforma Arduino UNO revisión 3.

Arduino posee bajos costos de implementación e instalación, con módulos (shields) totalmente compatibles, libertad en el manejo de licencias y un software multiplataforma y ampliable, derivado de Processing<sup>21</sup> que facilita la relación de conceptos a través de un IDE<sup>22</sup> simple, flexible y directo logrando además extenderse a través de librerías. Además de ello, la comunidad de Arduino es una de las más amplias y activas del mundo en lo que concierne sobre software y hardware libre, permitiendo así un enorme avance en materia de documentación, puesto que permiten que interesados de todas partes del mundo puedan colaborar en simultaneo, por lo general de manera desinteresada, en la consecución de un proyecto, ya sea a través de elaboración de códigos, traducción, fuentes, esquemas y diseños CAD (Diseños Asistidos por Computadora).

Todo este conjunto de ventajas se traducen en I+D (Investigación y desarrollo) de alta calidad, ya sea ampliándolo u optimizándolo, convirtiendo a esta herramienta en una atractiva e importante opción que permita establecer en conjunto con tecnologías de comunicaciones, mediciones precisas para así evitar en muchos casos, eventos climáticos que afectan considerablemente nuestro entorno.

---

<sup>20</sup> Empresa Chilena especializada en el diseño, fabricación y comercialización de dispositivos electrónicos para prototipos rápidos. Enlace web: <http://www.olimex.cl/index.php>

<sup>21</sup> Entorno de desarrollo integrado creado por Casey Reas y Ben Fry.

<sup>22</sup> Entorno de programación

Técnicamente Arduino UNO difiere de otras versiones en la incorporación de un sistema de autoselección del voltaje de alimentación (DC/USB) gracias a un chip MOSFET incluido en la placa. Además, dispone de un cargador de arranque (bootloader) OptiBoot que permite cargar programas a 115Kbps (56Kbps en la versión anterior). Dicho bootloader ocupa solo 512 bytes de memoria, permitiendo aprovechar al máximo la memoria interna de la plataforma.

Cabe destacar que para la primera etapa de muestras se había empleado la plataforma Arduino LEONARDO, una nueva versión que se caracteriza por poseer un microcontrolador empotrado al sistema principal; pero posteriormente se decantó por dicha opción, debido a que dicha caracteriza podría convertirse en un futuro en una importante limitante, puesto que ante un fallo del microcontrolador, este no podía reemplazarlo, conllevando a cambiar toda la placa.

### **9.1.2 Selección de los factores ambientales para disponer en la plataforma de desarrollo seleccionada**

Para el presente trabajo se escoge como mediciones primordiales, las variables climatológicas de temperatura del aire, humedad relativa y presión atmosférica, puesto que además de ser las más usadas, sintetizan el comportamiento del clima de una región. [33]

Además de ello dicha información encaja perfectamente en el cuarto tipo de estación meteorológica, conocida como estación sinóptica suplementaria, permitiendo contribuir a la elaboración de la predicción meteorológica de la zona y la climatología del lugar donde se realizan las mediciones. De esta manera se instauró la toma de datos se instauró como propósito principal el mostrar los aspectos generales del comportamiento de estas variables para establecer una base de comparación con el clima simulado por los modelos climáticos, ya sean globales o regionales.

### **9.1.3 Evaluación y selección de los sensores para su implementación en la plataforma de desarrollo seleccionada**

Para una correcta evaluación y selección de los sensores se debe corroborar los siguientes parámetros para verificar que sean aplicables [34]:

- La implementación de los cálculos debe ser correcta.
- Los cálculos repetitivos deben haber sido copiados correctamente.
- El redondeo debe hacerse con la cantidad de lugares o cifras apropiadas al cálculo.
- Exactitud de los cálculos utilizando datos de prueba típicos o de referencia.

- Correcto tratamiento de los parámetros utilizando datos de prueba con valores de los parámetros dentro del intervalo, en los extremos del intervalo y fuera del intervalo de valores esperados o permitidos.

A partir de dichas instrucciones se inició el ciclo de muestras con el fin de seleccionar los sensores que mejor comportamiento tuviesen frente a la estación meteorológica.

Inicialmente para analizar dicho comportamiento y conocer como serian agrupados los sensores, se efectuó un diseño de experimentos 2k factorial, con la ayuda de la herramienta Minitab v16 con las siguientes características, arrojando los resultados descritos en la Tabla 10 y 11 respectivamente:

- Factores: 3
- Niveles del factor: 5. 2. 2
- Corridas: 100
- Réplicas: 5

Tabla 10. Descripción del diseño de experimentos 2k factorial

<b>Factor</b>	<b>Nombre</b>	<b>Niveles</b>
A	Sensor_Temp	"MCP9700" "TMP36" "RHT03" "MPL115A1" "BMP085"
B	Sensor_Presion	"BMP085" "MPL115A1"
C	Sensor_Humedad	"RHT03" "HIH4030"

Tabla 11. Orden de corridas elaboradas con la herramienta Minitab.

<b>OrdenEst</b>	<b>OrdenCorrida</b>	<b>TipoPt</b>	<b>Bloques</b>	<b>Sensor_Temp</b>	<b>Sensor_Presion</b>	<b>Sensor_Humedad</b>
30	1	1	1	RHT03	BMP085	HIH4030
9	2	1	1	RHT03	BMP085	RHT03
36	3	1	1	MPL115A1	MPL115A1	HIH4030
73	4	1	1	MPL115A1	BMP085	RHT03
82	5	1	1	MCP9700	BMP085	HIH4030
16	6	1	1	MPL115A1	MPL115A1	HIH4030
24	7	1	1	MCP9700	MPL115A1	HIH4030
23	8	1	1	MCP9700	MPL115A1	RHT03
59	9	1	1	BMP085	MPL115A1	RHT03
2	10	1	1	MCP9700	BMP085	HIH4030
60	11	1	1	BMP085	MPL115A1	HIH4030
94	12	1	1	MPL115A1	BMP085	HIH4030



39	13	1	1	BMP085	MPL115A1	RHT03
84	14	1	1	MCP9700	MPL115A1	HIH4030
6	15	1	1	TM36	BMP085	HIH4030
49	16	1	1	RHT03	BMP085	RHT03
80	17	1	1	BMP085	MPL115A1	HIH4030
85	18	1	1	TM36	BMP085	RHT03
70	19	1	1	RHT03	BMP085	HIH4030
90	20	1	1	RHT03	BMP085	HIH4030
76	21	1	1	MPL115A1	MPL115A1	HIH4030
88	22	1	1	TM36	MPL115A1	HIH4030
55	23	1	1	MPL115A1	MPL115A1	RHT03
69	24	1	1	RHT03	BMP085	RHT03
93	25	1	1	MPL115A1	BMP085	RHT03
81	26	1	1	MCP9700	BMP085	RHT03
12	27	1	1	RHT03	MPL115A1	HIH4030
64	28	1	1	MCP9700	MPL115A1	HIH4030
38	29	1	1	BMP085	BMP085	HIH4030
40	30	1	1	BMP085	MPL115A1	HIH4030
83	31	1	1	MCP9700	MPL115A1	RHT03
17	32	1	1	BMP085	BMP085	RHT03
53	33	1	1	MPL115A1	BMP085	RHT03
5	34	1	1	TM36	BMP085	RHT03
74	35	1	1	MPL115A1	BMP085	HIH4030
54	36	1	1	MPL115A1	BMP085	HIH4030
11	37	1	1	RHT03	MPL115A1	RHT03
99	38	1	1	BMP085	MPL115A1	RHT03
35	39	1	1	MPL115A1	MPL115A1	RHT03
62	40	1	1	MCP9700	BMP085	HIH4030
42	41	1	1	MCP9700	BMP085	HIH4030
57	42	1	1	BMP085	BMP085	RHT03
13	43	1	1	MPL115A1	BMP085	RHT03
27	44	1	1	TM36	MPL115A1	RHT03
89	45	1	1	RHT03	BMP085	RHT03
87	46	1	1	TM36	MPL115A1	RHT03
96	47	1	1	MPL115A1	MPL115A1	HIH4030
41	48	1	1	MCP9700	BMP085	RHT03
28	49	1	1	TM36	MPL115A1	HIH4030
95	50	1	1	MPL115A1	MPL115A1	RHT03
19	51	1	1	BMP085	MPL115A1	RHT03
47	52	1	1	TM36	MPL115A1	RHT03

1	53	1	1	MCP9700	BMP085	RHT03
51	54	1	1	RHT03	MPL115A1	RHT03
79	55	1	1	BMP085	MPL115A1	RHT03
52	56	1	1	RHT03	MPL115A1	HIH4030
44	57	1	1	MCP9700	MPL115A1	HIH4030
18	58	1	1	BMP085	BMP085	HIH4030
97	59	1	1	BMP085	BMP085	RHT03
31	60	1	1	RHT03	MPL115A1	RHT03
20	61	1	1	BMP085	MPL115A1	HIH4030
15	62	1	1	MPL115A1	MPL115A1	RHT03
29	63	1	1	RHT03	BMP085	RHT03
4	64	1	1	MCP9700	MPL115A1	HIH4030
43	65	1	1	MCP9700	MPL115A1	RHT03
91	66	1	1	RHT03	MPL115A1	RHT03
33	67	1	1	MPL115A1	BMP085	RHT03
10	68	1	1	RHT03	BMP085	HIH4030
67	69	1	1	TM36	MPL115A1	RHT03
66	70	1	1	TM36	BMP085	HIH4030
32	71	1	1	RHT03	MPL115A1	HIH4030
72	72	1	1	RHT03	MPL115A1	HIH4030
100	73	1	1	BMP085	MPL115A1	HIH4030
56	74	1	1	MPL115A1	MPL115A1	HIH4030
71	75	1	1	RHT03	MPL115A1	RHT03
63	76	1	1	MCP9700	MPL115A1	RHT03
26	77	1	1	TM36	BMP085	HIH4030
98	78	1	1	BMP085	BMP085	HIH4030
86	79	1	1	TM36	BMP085	HIH4030
45	80	1	1	TM36	BMP085	RHT03
46	81	1	1	TM36	BMP085	HIH4030
68	82	1	1	TM36	MPL115A1	HIH4030
50	83	1	1	RHT03	BMP085	HIH4030
65	84	1	1	TM36	BMP085	RHT03
37	85	1	1	BMP085	BMP085	RHT03
25	86	1	1	TM36	BMP085	RHT03
3	87	1	1	MCP9700	MPL115A1	RHT03
58	88	1	1	BMP085	BMP085	HIH4030
22	89	1	1	MCP9700	BMP085	HIH4030
21	90	1	1	MCP9700	BMP085	RHT03
7	91	1	1	TM36	MPL115A1	RHT03
78	92	1	1	BMP085	BMP085	HIH4030

75	93	1	1	MPL115A1	MPL115A1	RHT03
8	94	1	1	TM36	MPL115A1	HIH4030
48	95	1	1	TM36	MPL115A1	HIH4030
14	96	1	1	MPL115A1	BMP085	HIH4030
34	97	1	1	MPL115A1	BMP085	HIH4030
77	98	1	1	BMP085	BMP085	RHT03
92	99	1	1	RHT03	MPL115A1	HIH4030
61	100	1	1	MCP9700	BMP085	RHT03

Posterior a ello el 9 febrero de 2013 se prepararon las muestras, para comprobar su normal funcionamiento y se encontraron observaciones sobre la entrega de los resultados arrojados por los sensores:

- El sensor HIH4030 presentaba datos que aumentaban progresivamente de manera muy elevada.
- El sensor RHT03 presentaba inconvenientes al procesar los datos a partir de errores en la lectura del código asignado.
- Los sensores analógicos (MCP9700, TMP36) entregaban datos erróneos al principio de la prueba, pero con el transcurso del tiempo su curva de calibración se acomodaba a los datos esperados.
- Los sensores barométricos (BMP085, MPL115A1) expresaban como mediciones de temperatura, una temperatura interna que era significativamente a la temperatura ambiental.

Con el conocimiento de los errores en sus funciones, se ajustaron los códigos de los sensores que presentaron inconvenientes, y se descartaron la medición de temperatura por parte de los sensores barométricos (BMP085, MPL115A1); y el 19 de febrero de 2013 se realizaron las pruebas finales, entre intervalos de 2 minutos entre cada toma de datos desde las 9:30am hasta las 5:00pm, alcanzando a tomar 40 bloques de muestras; de esta manera esta jornada permitió evaluar que los factores de diseños controlables (calentamiento interno y diferencias de voltaje) y no controlables (altitud, condiciones climáticas y condiciones del entorno) no influían deliberadamente sobre las respuesta de las variable de interés para el experimento (temperatura, humedad y presión atmosférica).

Posteriormente se decidió cambiar la técnica experimental por la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados. De esta manera se seleccionó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la variabilidad entre dicha medida y el factor nominal.

Después de algunos inconvenientes, debido al traslado de la estación meteorológica Vantage Pro2, a la azotea de la Universidad de la Costa, acción que además retrasó la presente toma de datos, a razón de ser una zona de acceso restringido y con limitaciones por parte de las normas de seguridad ocupacional por la altura de su instalación, se organizó una nueva sesión de muestras.

Para esta nueva jornada realizada el 24 de abril de 2013, se distribuyeron los sensores en cinco bloques, cada uno con 6 réplicas, a intervalos de un minuto; generando las siguientes tablas:

Tabla 12. Tabla 13. Muestras de Temperatura de la plataforma Open Forecast<sup>23</sup>

SENSOR	TIEMPO	NÚMERO DE MUESTRAS * min						PROMEDIO
		1	2	3	4	5	6	
RHT03	10:15 a.m.	33,50	31,30	33,60	34,70	34,30	34,80	33,70
TMP36		31,05	32,03	31,05	33,01	32,03	32,03	31,87
MCP9700		31,54	33,01	32,52	31,54	31,54	32,52	32,11
RHT03	10:22 a.m.	33,20	34,00	34,60	34,00	34,00	33,90	33,95
TMP36		30,57	31,05	31,54	29,59	29,59	30,57	30,49
MCP9700		30,57	32,52	31,05	31,54	33,01	30,08	31,46
RHT03	10:29 a.m.	34,60	33,80	33,70	33,90	34,00	33,60	33,93
TMP36		30,57	31,05	31,54	32,03	32,03	31,05	31,38
MCP9700		32,03	30,08	31,05	33,50	31,54	32,03	31,71
RHT03	10:35 a.m.	34,10	34,90	34,30	34,10	34,80	35,20	34,09
TMP36		31,54	30,57	31,05	31,54	32,03	32,03	30,36
MCP9700		32,52	34,47	32,52	33,90	33,01	32,03	31,43
RHT03	10:42 a.m.	35,40	35,70	36,00	36,20	37,50	37,50	33,83
TMP36		32,52	31,05	33,50	31,54	32,52	32,03	31,61
MCP9700		34,47	32,52	34,47	33,01	36,43	33,98	31,97

<sup>23</sup> El comienzo de la toma de muestras se realizó 10 min después de inicializarse el sistema

Tabla 13. Muestras de Humedad de la plataforma Open Forecast<sup>24</sup>

SENSOR	TIEMPO	NÚMERO DE MUESTRAS * min						PROMEDIO
		1	2	3	4	5	6	
HIH4030	11:09 a.m.	15,90	18,23	18,79	19,57	16,98	19,46	18,16
RHT03		45,70	44,60	46,00	48,80	49,40	48,70	47,20
HIH4030	11:15 a.m.	24,89	11,93	30,52	22,84	20,75	27,14	23,01
RHT03		47,10	47,50	47,80	46,90	48,00	47,40	47,45
HIH4030	11:21 a.m.	26,00	19,79	21,55	18,80	19,99	18,87	20,83
RHT03		48,30	47,40	46,50	47,10	46,40	44,90	46,77
HIH4030	11:28 a.m.	16,45	15,09	21,08	15,42	10,68	0,82	13,26
RHT03		43,60	43,00	46,40	46,00	43,90	41,70	44,10
HIH4030	11:34 a.m.	7,23	5,59	7,05	17,20	8,52	15,60	10,20
RHT03		41,60	42,50	42,70	45,20	44,30	43,00	43,22

<sup>24</sup> El comienzo de la toma de muestras se realizó 13 min después de inicializarse el sistema

Tabla 14. Muestras de Temperatura Out de la Estación Vantage Pro2<sup>25</sup>

SENSOR	TIEMPO	NÚMERO DE MUESTRAS * min						PROMEDIO
		1	2	3	4	5	6	
Estación	10:15 a.m.	30,70	30,70	30,60	30,60	30,70	30,60	30,65
Estación	10:22 a.m.	30,60	30,60	30,60	30,60	30,50	30,50	30,57
Estación	10:29 a.m.	30,60	30,60	30,60	30,60	30,60	30,50	30,58
Estación	10:35 a.m.	30,40	30,50	30,50	30,50	30,40	30,40	30,45
Estación	10:42 a.m.	30,60	30,60	30,70	30,80	30,90	31,00	30,77

Tabla 15. Muestras de Humedad Out de la Estación Vantage Pro2<sup>26</sup>

SENSOR	TIEMPO	NÚMERO DE MUESTRAS * min						PROMEDIO
		1	2	3	4	5	6	
Estación	11:09 a.m.	49,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	49,83
Estación	11:15 a.m.	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Estación	11:21 a.m.	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	51,00	50,17
Estación	11:28 a.m.	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00
Estación	11:34 a.m.	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	52,00	50,33

<sup>25</sup> El comienzo de la toma de muestras se realizó 10 min después de inicializarse el sistema

<sup>26</sup> El comienzo de la toma de muestras se realizó 13 min después de inicializarse el sistema

Como puede observarse en las dos tablas anteriores, no se hace mediciones de los sensores de presión a razón que la presión atmosférica no cambia regularmente como si lo hace la temperatura y la humedad, pues disminuye con la altura, como lo indica la figura 28.

Conforme a ello, cabe destacar que durante la jornada de mediciones tanto la estación Meteorológica Vantage Pro2 como la plataforma Open Forecast, mantuvieron la misma altura, ocasionado por ende el descarte de los valores de presión atmosférica.

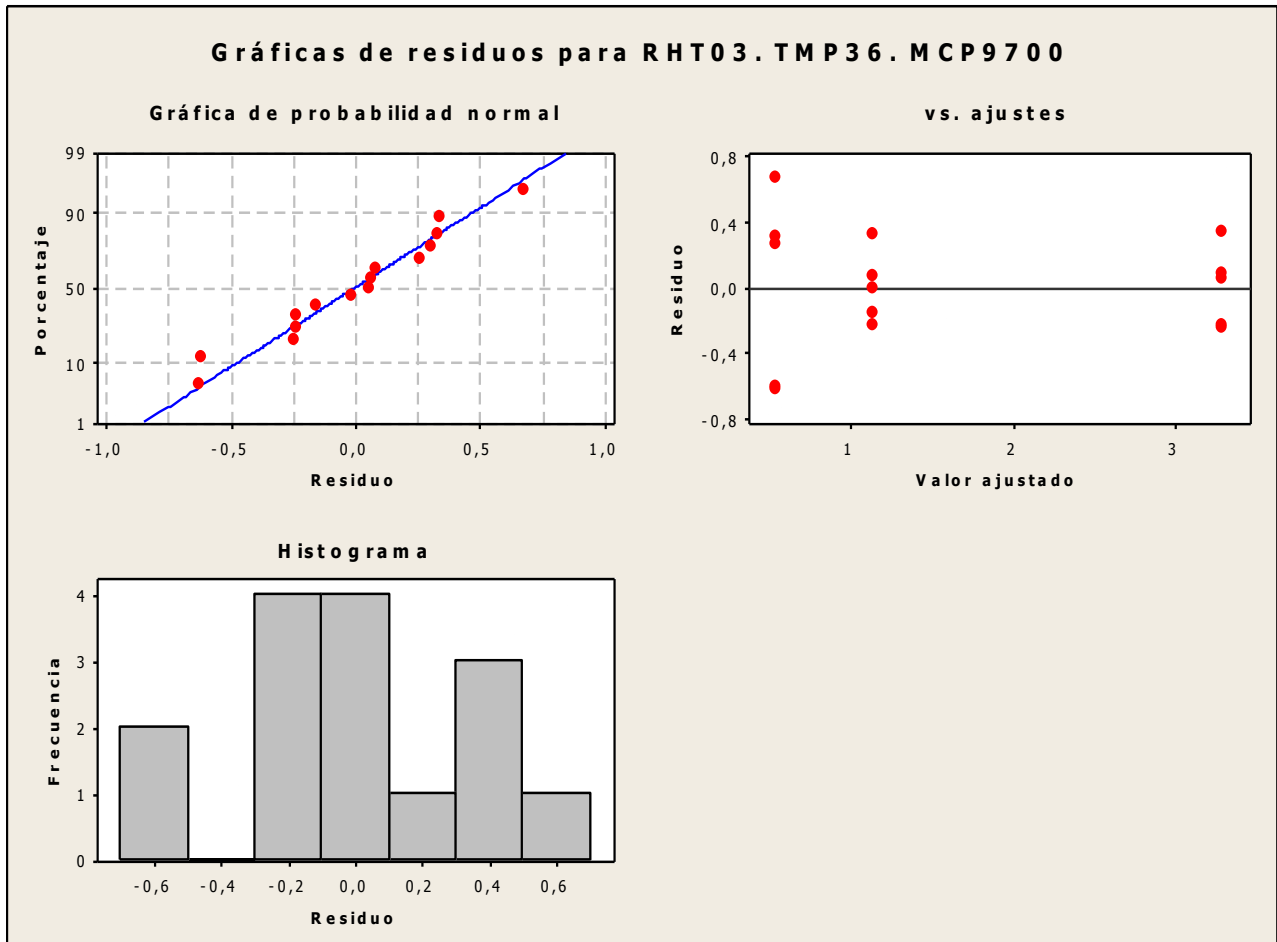
A continuación se dispusieron los datos en la herramienta estadística Minitab v16 y se obtuvieron los valores de ajustes descritos en la tabla 12 y 13, para temperatura y humedad respectivamente, que permitieron generar las siguientes gráficas de los diseños de ANOVA, a través del método LSD de Fisher, que permite comparar las medias para cada par de niveles de factor con una tasa de error de nivel de significancia individual de 5% y un nivel de confianza del 95%.

Tabla 16. Variables de respuestas ajustadas sensores de temperatura

RHT03	TMP36	MCP9700	RESID1	RESID2	RESID3	AJUSTE S1	AJUSTE S2	AJUSTE S3
3,05	1,22	1,46	-0,2466	0,68186	0,33066667	3,29666667	0,5348	1,131
3,38	-0,08	0,89	0,0866	-0,61646	-0,236	3,29666667	0,5348	1,131
3,35	0,80	1,12	0,0533	0,2602	-0,00933333	3,29666667	0,5348	1,131
3,64	-0,10	0,98	0,3433	-0,6298	-0,15266667	3,29666667	0,5348	1,131
3,06	0,84	1,20	-0,2366	0,3042	0,06733333	3,29666667	0,5348	1,131



Figura 48. Gráfica de residuos para los sensores de temperatura.



Al analizar la gráfica de residuos para los sensores de temperatura, se presenta una distribución tres en uno, donde la primera de izquierda a derecha, es la gráfica de probabilidad normal de residuos, seguida por la gráfica residuos versus ajustes, y finalmente el histograma de residuos.

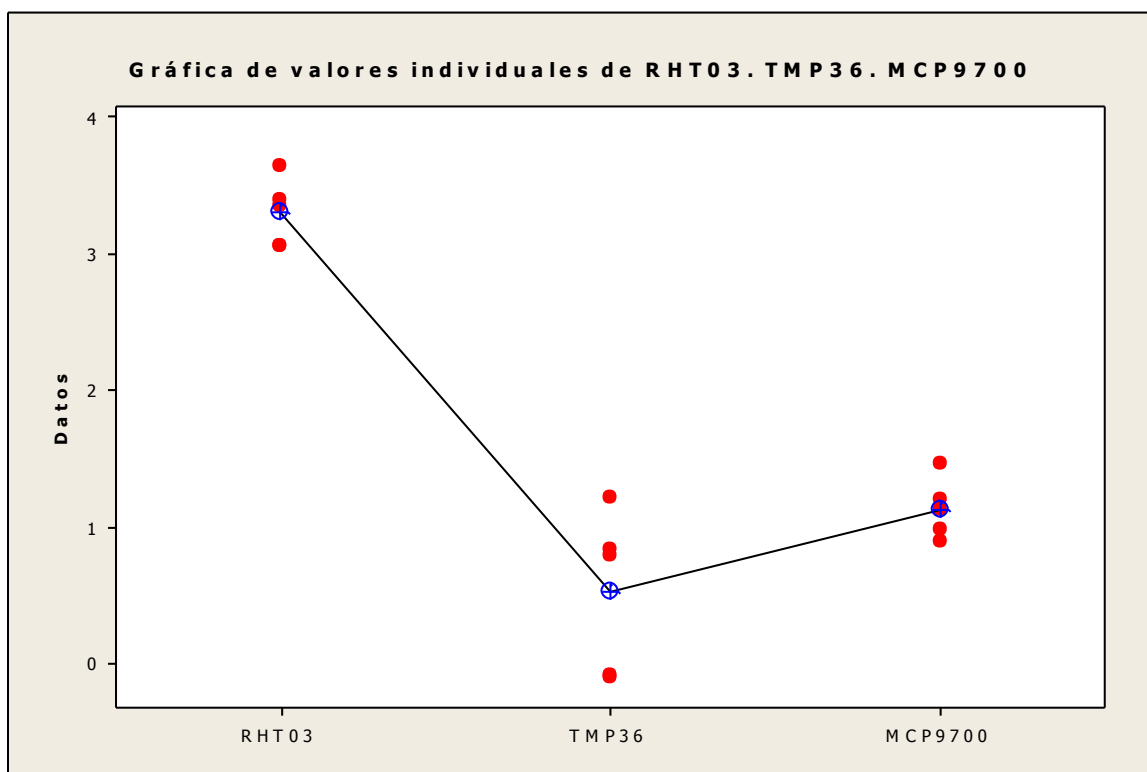
La gráfica de probabilidad normal de residuos representa los residuos versus los valores esperados cuando la distribución es normal. Para los datos sobre la exactitud de los sensores de temperatura se puede observar que parecen seguir una línea recta, por lo cual es válido afirmar que no existe evidencia de no normalidad (datos que se desvían de una distribución normal.), asimetría, valores atípicos o variables no identificadas.

La gráfica residuos versus los valores ajustados muestra que los residuos (valores de la observación, menos los valores ajustado de la observación) parecen estar dispersos aleatoriamente alrededor de cero, siendo evidente que no existe

presencia de varianza no constante, es decir, residuos que aumentan o disminuyen con los valores ajustados en un patrón en forma de embudo, ni términos faltantes o valores atípicos.

La gráfica histograma de residuos muestra la distribución de los residuos para todas las observaciones, y para los datos sobre la exactitud de los sensores de temperatura se puede observar que no se presenta asimetría o valores atípicos.

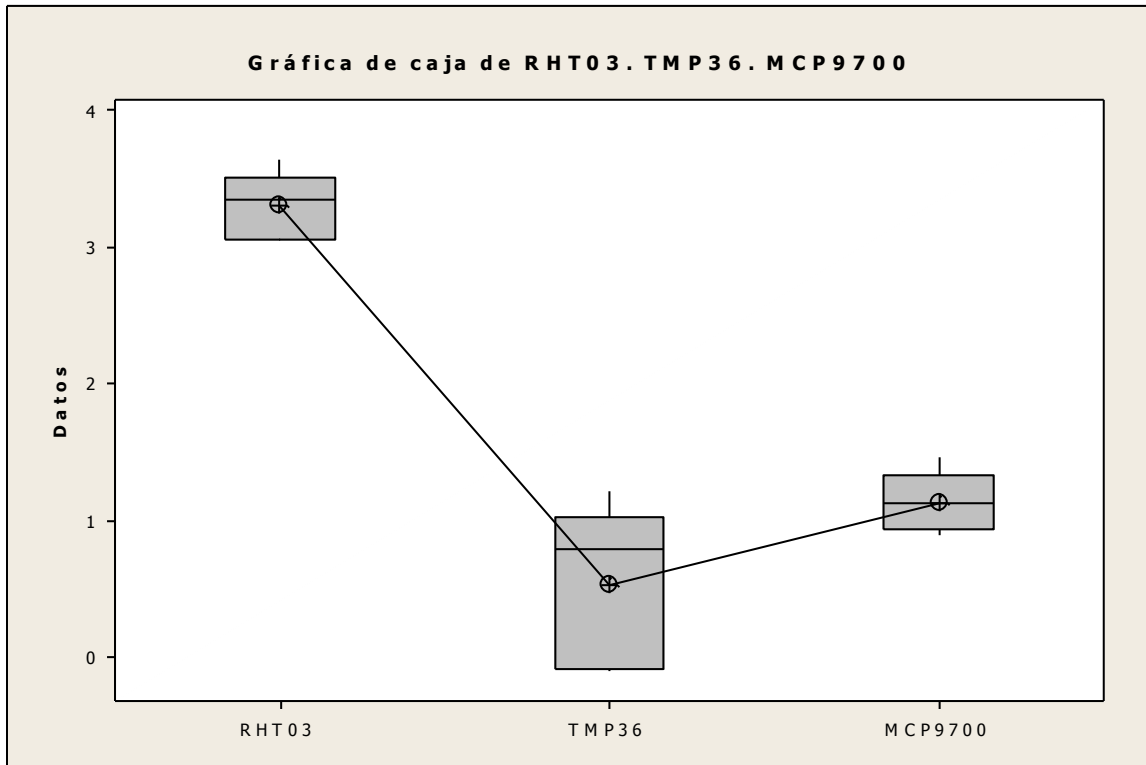
Figura 49. Gráfica de valores individuales para los sensores de temperatura



Las gráficas de valores individuales de los datos de los sensores de temperatura muestran lo siguiente:

- Los valores del sensor RHT03 generalmente fueron los más alejados.
- Los datos para los tres niveles tienen aproximadamente la misma dispersión. Por lo tanto, la variabilidad en los datos debida al factor es igual para los tres conjuntos de datos, pero al mirar las gráficas, se puede observar una marcada diferencia en las medias para cada caso.
- No hay puntos que sean inusualmente más grandes o más pequeños que el resto (valores atípicos).

Figura 50. Gráfica de caja para los sensores de temperatura



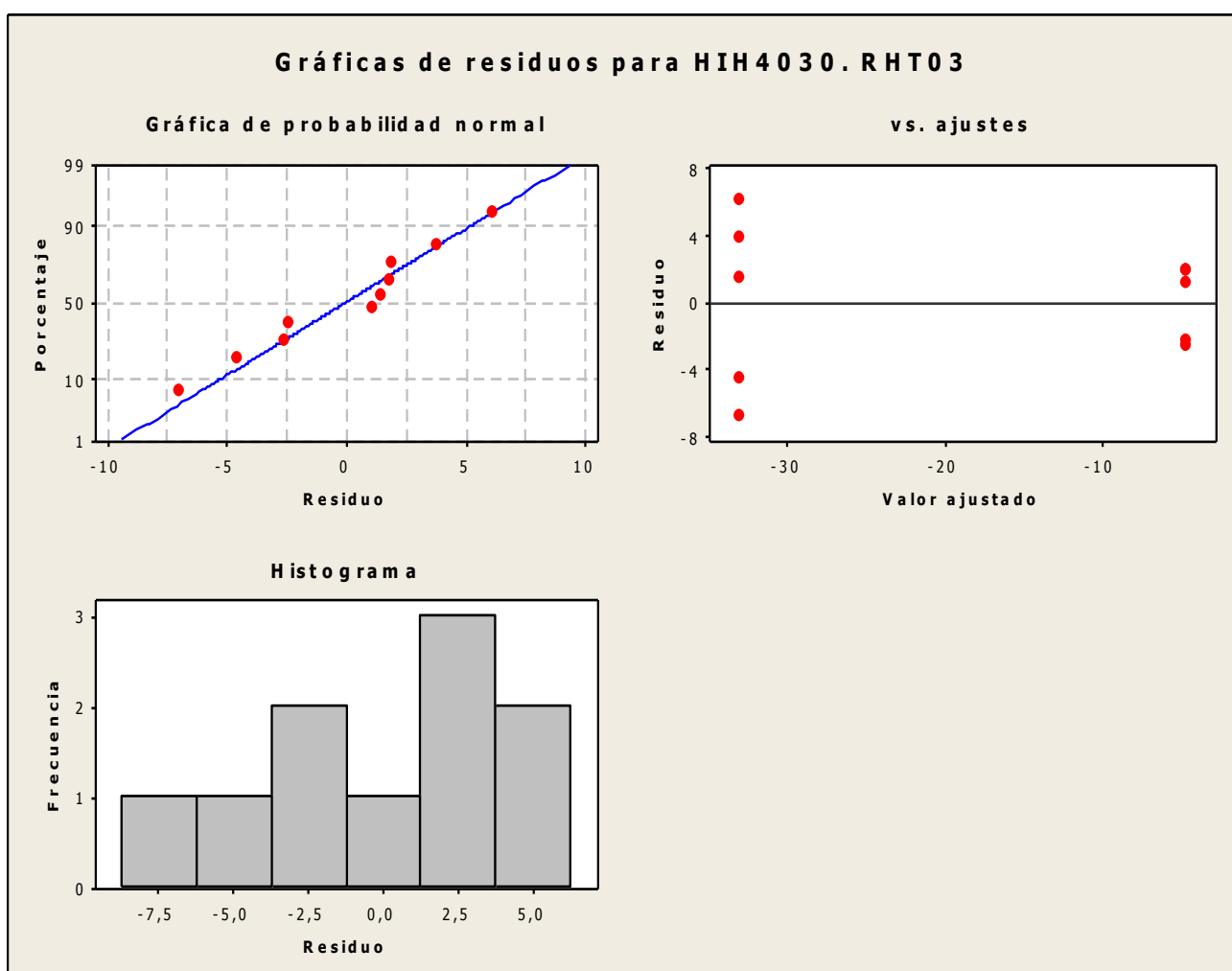
Las gráficas de caja de datos sobre la medición de los los sensores de temperatura ilustran lo siguiente:

- El sensor RHT03 tiene valores más alejados, así como una media y mediana más grande, lo que se traduce en menor exactitud para la medición de datos.
- El sensor TMP36 tiene los valores más cercanos, la media y la mediana más pequeña, infiriéndose mayor exactitud en los datos.
- La mitad media de los datos para el sensor TMP36 está muy dispersa, como lo indica la mediana de su caja grande.
- El sensor TMP36 también tiene un rango general de valores más grande, como lo indican los extremos de los bigotes, que representan el 25% superior e inferior de los datos.
- No hay valores atípicos, representados con asteriscos (\*), en los datos para ninguno de los niveles, puesto que se manejaron valores promediados.

Tabla 17. Variables de respuestas ajustadas sensores de humedad

HIH4030	RHT03	RESID1	RESID2	AJUSTES1	AJUSTES2
-31,68	-2,63	1,49733	1,88667	-33,1757	-4,52
-26,99	-2,55	6,18733	1,97000	-33,1757	-4,52
-29,33	-3,40	3,84233	1,12000	-33,1757	-4,52
-37,74	-6,90	-4,56767	-2,38000	-33,1757	-4,52
-40,14	-7,12	-6,95933	-2,59667	-33,1757	-4,52

Figura 51. Gráfica de residuos para los sensores de humedad



Al analizar la gráfica de residuos para los sensores de humedad, se presenta una distribución tres en uno, donde la primera de izquierda a derecha, es la gráfica de probabilidad normal de residuos, seguida por la gráfica residuos versus ajustes, y finalmente el histograma de residuos.

La gráfica de probabilidad normal de residuos representa los residuos versus los valores esperados cuando la distribución es normal. Para los datos sobre la exactitud de los sensores de humedad se puede observar que parecen seguir una línea recta, por lo cual es válido afirmar que no existe evidencia de no normalidad (datos que se desvían de una distribución normal.), asimetría, valores atípicos o variables no identificadas.

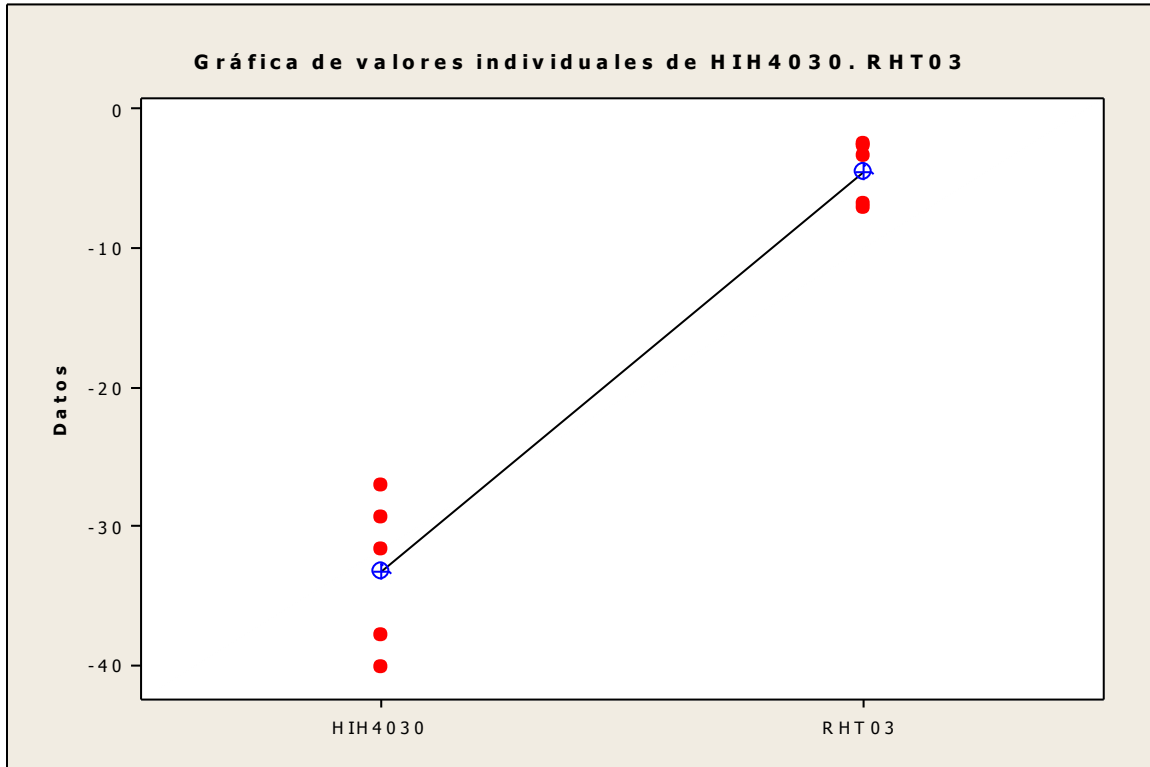
La gráfica residuos versus los valores ajustados muestra que los residuos (valores de la observación, menos los valores ajustados de la observación) parecen estar muy dispersos aleatoriamente alrededor de cero, siendo evidente que no existe presencia de varianza no constante, es decir, residuos que aumentan o disminuyen con los valores ajustados en un patrón en forma de embudo, ni términos faltantes o valores atípicos.

La gráfica histograma de residuos muestra la distribución de los residuos para todas las observaciones, y para los datos sobre la exactitud de los sensores de humedad se puede observar que no se presenta asimetría o valores atípicos.

Es importante tener en cuenta los procedimientos de regresión y ANOVA aplicados mantenían los siguientes supuestos en relación con los errores:

- Los errores están distribuidos normalmente con una media de cero.
- La varianza del error no cambia para diferentes niveles de un factor o de acuerdo con los valores de la respuesta pronosticada.
- Cada error es independiente de todos los demás errores.

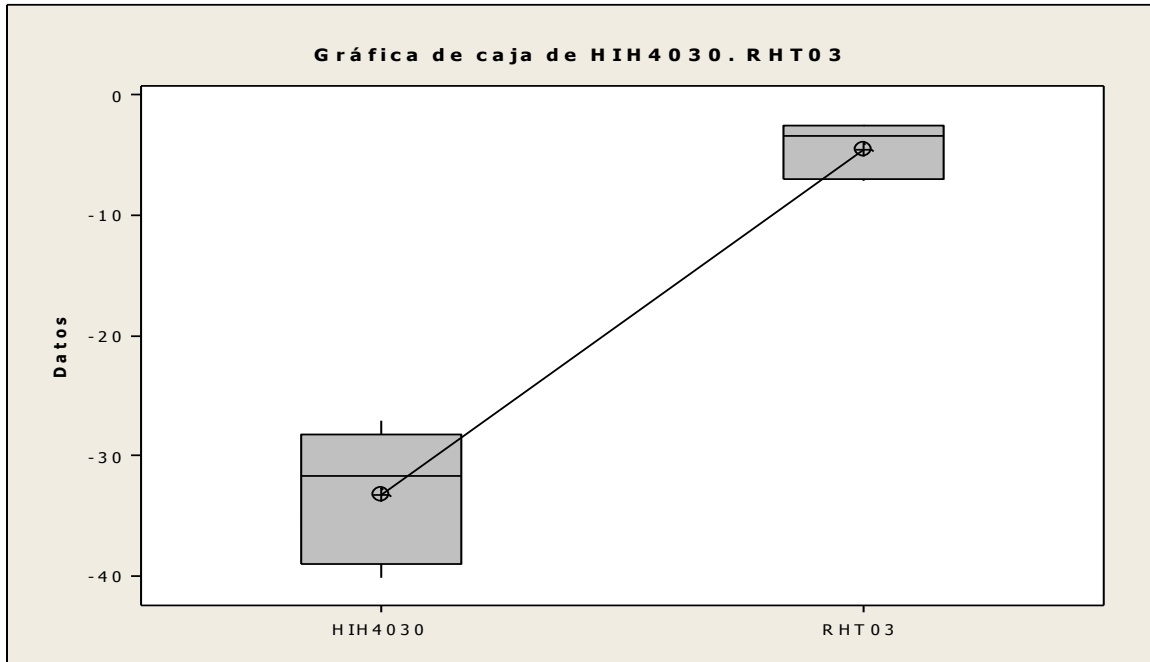
Figura 52. Gráfica de valores individuales para los sensores de humedad.



Las gráficas de valores individuales de los datos de los sensores de humedad muestran lo siguiente:

- Los valores del sensor HIH-4030 fueron los más alejados.
- Los datos para los dos niveles tienen demasiada dispersión entre sí. Por lo tanto, la variabilidad en los datos debida al factor es significativamente distante para los dos conjuntos de datos, con una marcada diferencia en las medias y medianas para cada caso.
- No hay puntos que sean inusualmente más grandes o más pequeños que el resto (valores atípicos).

Figura 53. Gráfica de caja para los sensores de humedad



Las gráficas de caja de datos sobre la medición de los los sensores de humedad ilustran lo siguiente:

- El sensor HIH-4030 tiene valores demasiados alejados, así como una media y mediana mucho más grande, lo que se traduce en pésima exactitud para la medición de datos.
- El sensor RHT03 tiene los valores más cercanos, la media y la mediana más pequeña, infiriéndose mayor exactitud en los datos.
- La mitad media de los datos para el sensor RHT03 es poco dispersa, como lo indica la mediana de su caja grande.
- El sensor HIH-4030 también tiene un rango general de valores más grande, como lo indican los extremos de los bigotes, que representan el 25% superior e inferior de los datos.
- No hay valores atípicos, representados con asteriscos (\*), en los datos para ninguno de los niveles, puesto que se manejaron valores promediados.

Para complementar los análisis y ajustes de los datos realizados a través de la herramienta estadística Minitab para los sensores de temperatura y humedad respectivamente, se realizaron dos gráficas lineales diseñados en el software EXCEL v2010, que cruzasen los datos arrojados por la toma de datos de la jornada realizada el 24 de abril de 2013, excluyendo los promedios, es decir, la tabla de temperatura de la plataforma *Open Forecast* (ver tabla 9) con la tabla de temperatura out de la estación meteorológica Vantage Pro2 (ver tabla 11), y la tabla de humedad de la plataforma *Open Forecast* (ver tabla 10) con la tabla de humedad out de la estación meteorológica Vantage Pro2 (ver tabla 12); además de un detallado análisis de las estadísticas descriptivas expresadas en los anexos CC – DD.

Las gráficas lineales de los sensores de temperatura/humedad de la plataforma *Open Forecast* contra la salida de temperatura/humedad de la estación meteorológica Vantage Pro2 pueden visualizarse en las figuras 54-55.

A partir de la información condesada en los diseños de ANOVA realizados con el software Minitab, así como el cruce de datos suministrados por Excel, se finiquita la selección de los sensores TMP36 para la medición de la temperatura, y del sensor RHT03 para la medición de la humedad. Es importante denotar que dicha selección está íntimamente relacionada con los análisis de las gráficas suministradas por el diseño de experimentos, principalmente las gráficas de valores individuales y las gráficas de cajas, puesto que éstas están configuradas para trabajar con grupos pequeños de datos, lo que garantiza una mejor capacidad de respuesta con respecto al análisis estadístico de datos.

Para la selección del sensor barométrico se tuvieron en cuenta apreciaciones no estadísticas, debido que por el comportamiento intrínseco de la variable de presión atmosférica no se hacía necesario dichas mediciones, como se explicó anteriormente; lo que permitió dar pautas a verificar su comportamiento con la plataforma *Open Forecast*, concluyendo la selección del sensor BMP085, a razón que las librerías suministradas por el fabricante permitían mayor acople y facilidad al sistema diseñado. (Ver Anexo Z)

De manera integral esta selección proporciona un dispositivo electrónico de estación meteorológica con los siguientes límites o rangos, intrínsecos por los valores físicos o de material de cada sensor:

- Temperatura:  $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +125^{\circ}\text{C}$
- Humedad: 0-100% RH (Humedad relativa)
- Presión atmosférica: 300-1100 hPa (Hecto Pascales)



Figura 54. Gráfica Sensores Temperatura - Estación

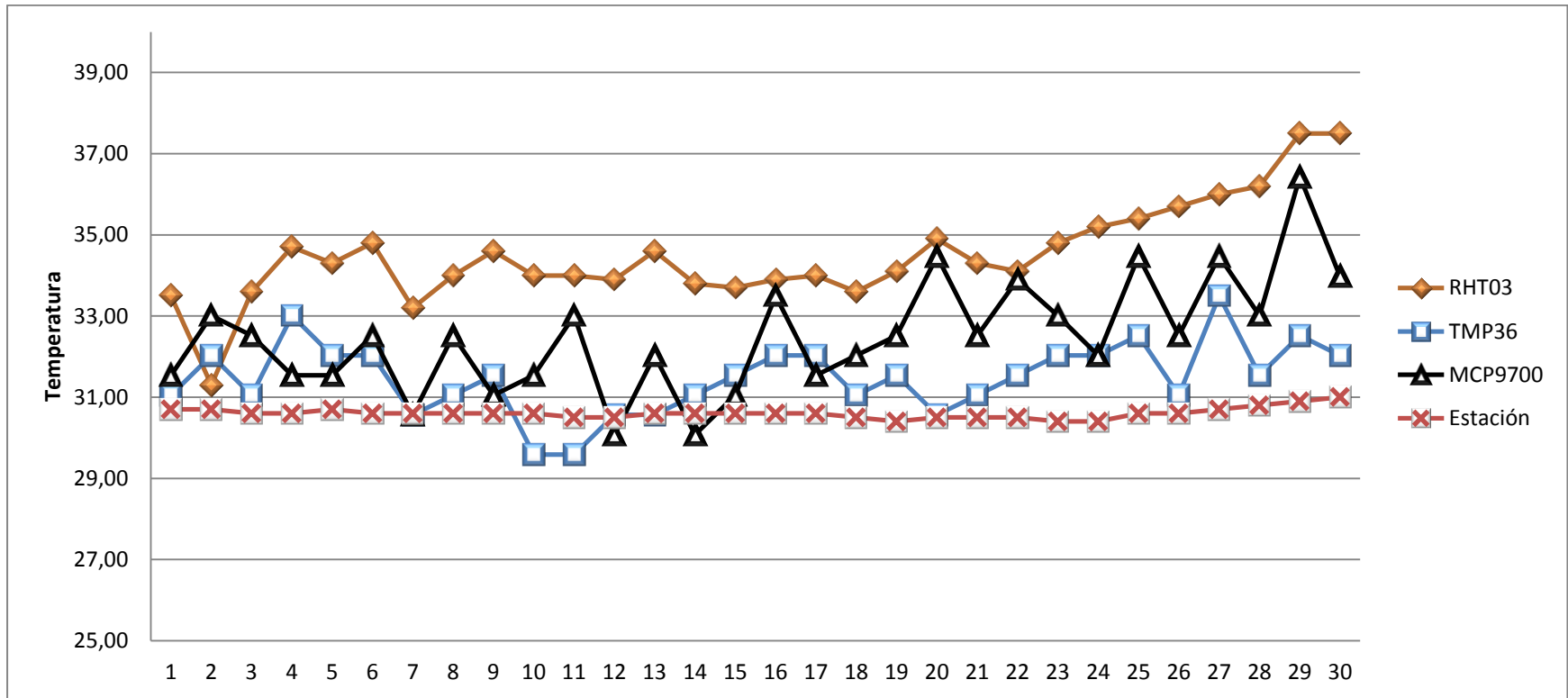
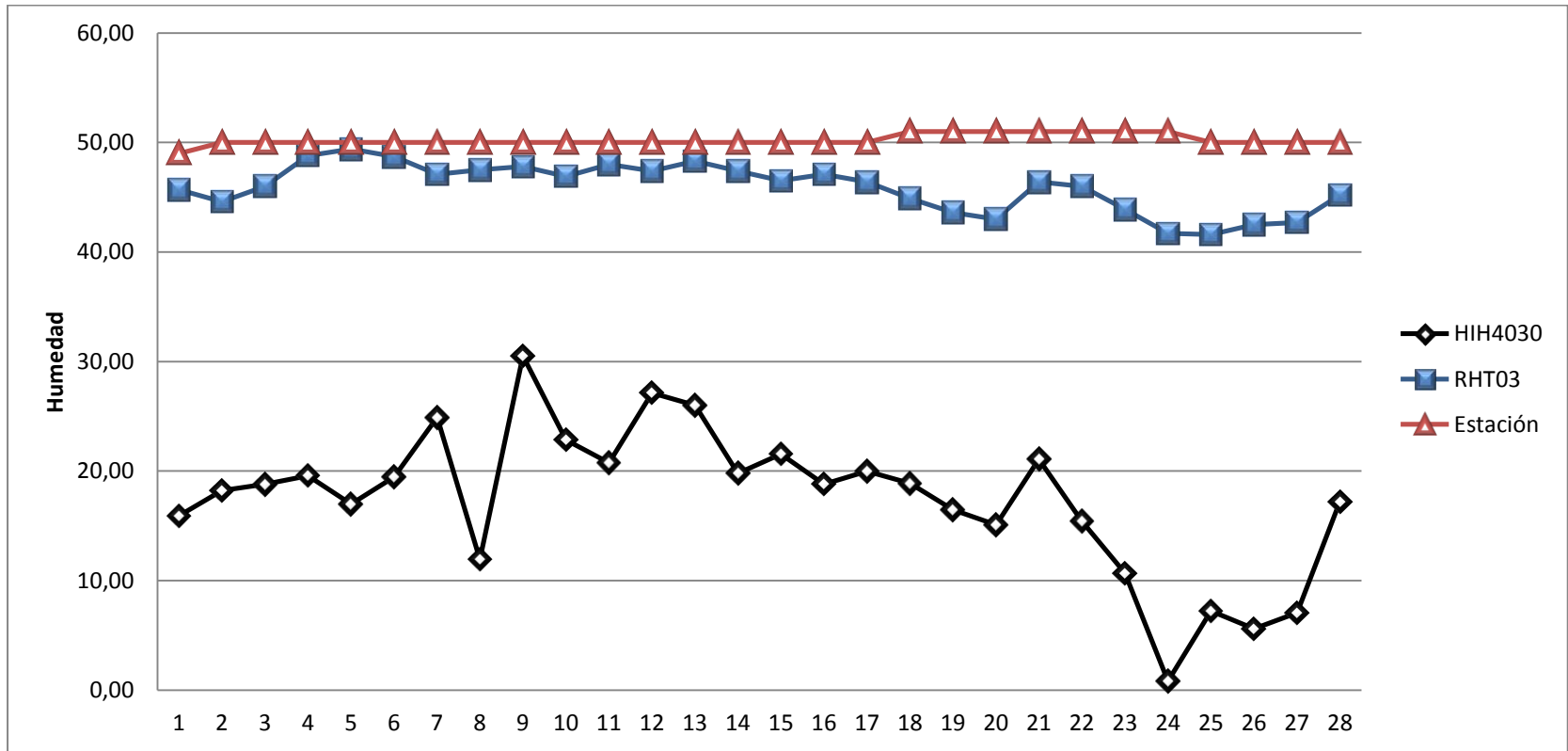


Figura 55. Gráfica Sensores Humedad - Estación



#### 9.1.4 Calibración de los sensores seleccionados para su implementación en la plataforma Open Forecast

Para la realización del proceso de calibración se dispuso de un termohigrómetro<sup>27</sup> digital de fabricante Taylor, referencia 1522, previamente calibrado por una entidad certificada por el INCONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación), para el caso Investigaciones Metrológicas del Caribe, METROCARIBE S. A, que contase con todos los apartados reglamentarios y legales respectivos (ver anexos F, G, H, I) para respaldar el proceso de medición y selección, de manera que se lograra reducir la variabilidad de respuesta garantizando el rendimiento y estabilidad del prototipo Open Forecast.

A continuación se dispusieron los datos en columnas independientes para comprobar las medidas del instrumento de medición patrón, a.k.a termohigrómetro digital, contra los respectivos sensores de temperatura/humedad de la plataforma Open Forecast.

Tabla 18. Medidas del instrumento patrón, contra la plataforma Open Forecast.

Patrón - Temperatura		Open Forecast – TMP36		Patrón - Humedad		Open Forecast – RHT03	
1	29.90°C	1	29.10°C	1	68.00%	1	68.60%
1	29.90°C	1	29.10°C	1	68.00%	1	68.60%
2	29.90°C	2	29.10°C	2	68.00%	2	68.50%
2	29.90°C	2	29.10°C	2	68.00%	2	68.30%
3	29.90°C	3	29.10°C	3	68.00%	3	68.30%
3	29.90°C	3	29.10°C	3	68.00%	3	68.20%
4	29.90°C	4	29.10°C	4	68.00%	4	68.20%
4	29.90°C	4	29.10°C	4	68.00%	4	68.20%
5	29.90°C	5	29.10°C	5	68.00%	5	68.00%
5	29.90°C	5	29.10°C	5	68.00%	5	68.10%
6	29.90°C	6	29.10°C	6	68.00%	6	68.10%
6	29.90°C	6	29.10°C	6	68.00%	6	68.10%
7	29.90°C	7	29.10°C	7	68.00%	7	68.10%
7	29.90°C	7	29.10°C	7	68.00%	7	68.10%
8	29.90°C	8	29.10°C	8	68.00%	8	68.10%
8	29.90°C	8	29.10°C	8	68.00%	8	68.10%
9	29.90°C	9	29.10°C	9	68.00%	9	68.10%
9	29.90°C	9	29.10°C	9	68.00%	9	68.10%
10	29.90°C	10	29.10°C	10	68.00%	10	68.00%
10	29.90°C	10	29.10°C	10	68.00%	10	68.00%

<sup>27</sup> Dispositivo encargado de medir la temperatura y humedad relativa

A partir de dicha recolección, se implementó el estudio r&R del sistema de medición de la herramienta Minitab con el fin de controlar la calidad y supervisar los cambios en los procesos críticos, es decir, ayudar a identificar los problemas que existen con el sistema de medición, y de esta manera tener un respaldo por sobre los datos o su defecto realizar mejoras reales en sus respectivos procesos.

Es importante resaltar que los estudios r&R permiten determinar si las inconsistencias en el sistema de medición son lo suficientemente grandes como para invalidarlo, por tal motivo se dividió el estudio para las mediciones de temperatura y humedad.

En primera instancia se organizaron los datos del sensor TPMP36 obtenidos en la tabla 12, en tres columnas (partes, medición, operador, respectivamente), como se puede apreciar en la tabla 19, y posteriormente se caracterizaron dichas mediciones permitiendo la obtención de las gráficas expuestas en la figura 56.

Tabla 19. Hoja de trabajo del estudio r&R del sensor TMP36

	Partes	Medición	Operador
1	1,00	31,05	1
2	1,00	32,03	1
3	1,00	31,05	1
4	1,00	33,01	2
5	1,00	32,03	2
6	1,00	32,03	2
7	2,00	30,57	1
8	2,00	31,05	1
9	2,00	31,54	1
10	2,00	29,59	2
11	2,00	29,59	2
12	2,00	30,57	2
13	3,00	30,57	1
14	3,00	31,05	1
15	3,00	31,54	1
16	3,00	32,03	2
17	3,00	32,03	2
18	3,00	31,05	2
19	4,00	31,54	1
20	4,00	30,57	1

21	4,00	31,05	1
22	4,00	31,54	2
23	4,00	32,03	2
24	4,00	32,03	2
25	5,00	32,52	1
26	5,00	31,05	1
27	5,00	33,5	1
28	5,00	31,54	2
29	5,00	32,52	2
30	5,00	32,03	2

A partir de la información suministrada por el Anexo EE, y con base a los parámetros establecidos se puede considerar a detalle la interpretación de los resultados de cada gráfica de la figura 56:

- **Componentes de la variación**

Cada conglomerado de barras representa una fuente de variación (%contribución, %variación del estudio, %tolerancia, %proceso). En un sistema de medición adecuado, el componente de variación más grande es la variación parte a parte, garantizando que la mayor parte de la variabilidad se encuentra las diferencias en las partes. Es importante aclarar que para las medidas de %Var. Del estudio y %Tolerancia, las barras Repetir y Reproducibilidad (Reprod) no se suman al Estudio r&R del sistema de medición debido a que estos porcentajes están basados en desviaciones estándar, no en varianzas.

- **Gráfica R**

La gráfica R es una gráfica de control de rangos que permite visualizar la uniformidad de operadores, consta de los puntos graficados, que representan, para cada operador, la diferencia entre las mediciones más grandes y las más pequeñas; la línea central verde, que es el promedio general del proceso; y los límites de control rojos, que representan la cantidad de variación esperada para los rangos de los subgrupos. Por tal motivo se debe garantizar que cualquiera de los puntos en la gráfica no se ubique por encima del límite de control superior (LCS), lo que permite afirmar que el operador está midiendo las partes con uniformidad.

- **Gráfica  $\bar{X}$**

La gráfica  $\bar{X}$  compara la variación parte a parte con el componente de repetibilidad, permitiendo indicar que la variación parte a parte es mucho más grande que la variación del dispositivo de medición.

- **Mediciones por parte**

La gráfica de la interacción Medición \* Partes muestra las mediciones promedio por cada operador para cada parte, mostrando que los promedios varían significativamente. Esto debe ocurrir porque las partes elegidas para el estudio deben representar todo el rango de partes posibles.

- **Mediciones por operador**

La gráfica Por operador permite determinar si las mediciones y la variabilidad son uniformes entre los operadores. Para el caso expuesto, se puede observar los operadores realizan mediciones uniformes, lo que garantiza mediciones similares.

- **Interacción Partes \* Operador**

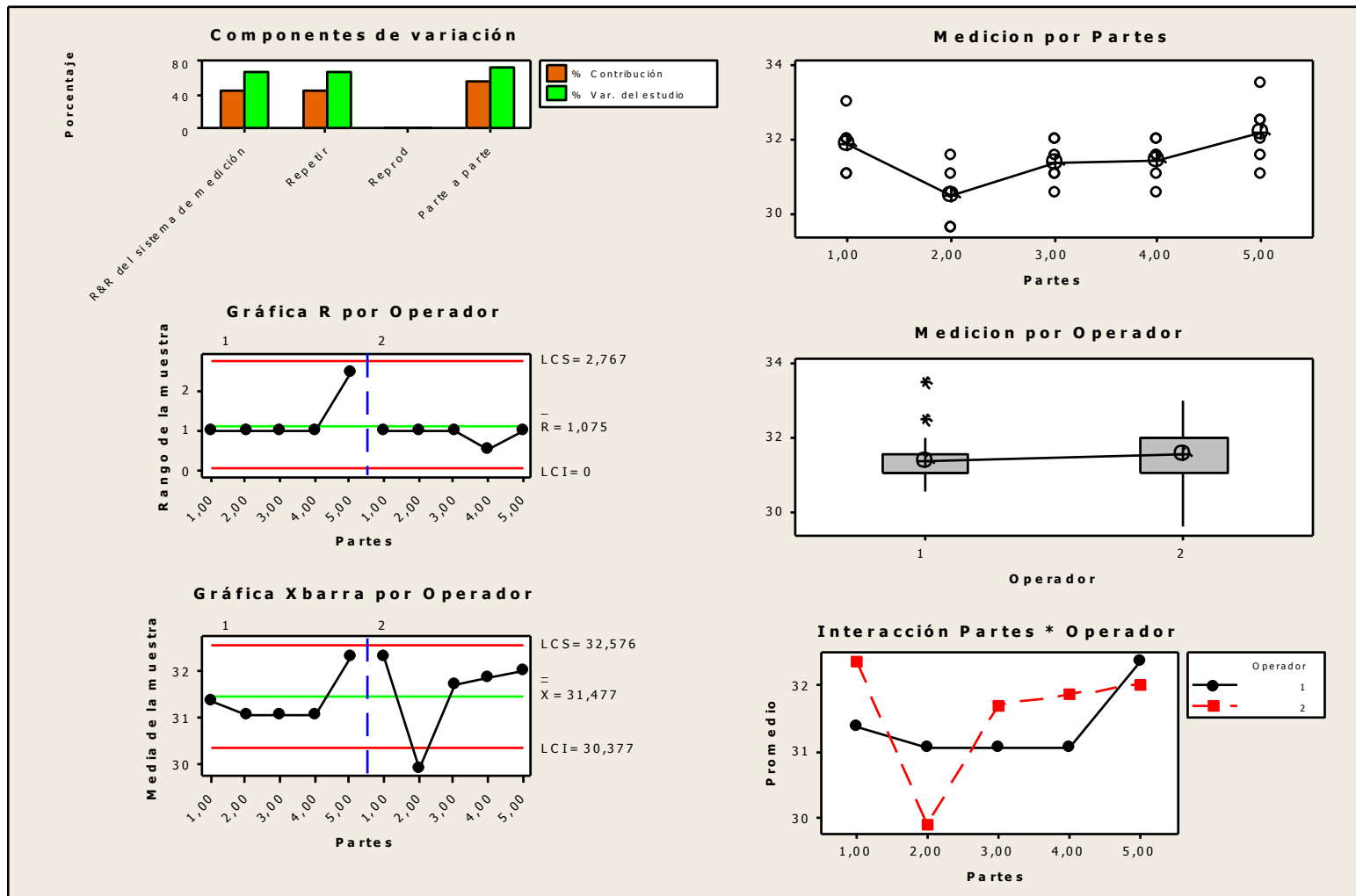
La gráfica Interacción Partes \* Operador muestra todas las mediciones del estudio organizadas por parte, permitiendo visualizar con suficiencia las diferencias entre las partes.

Finalmente y de acuerdo a los criterios de selección del Grupo de acción de la industria automotriz (AIAG) [29] que indican que para aceptar un estudio se debe tener en cuenta los siguientes rangos de selección:

- $R \& R < 10\%$                       Apto
- $10\% \leq R \& R \leq 30\%$               Apto con reservas
- $R \& R > 30\%$                       No apto

Para el caso expuesto de la caracterizaron de las variable de temperatura basados en los Anexos EE se observa que el r&R del sistema de medición total es del 3,750% lo que permite que el sensor TMP36 sea apto para la implementación en la plataforma Open Forecast.

Figura 56. r&R del sistema de medición para las variables de temperatura



Después del análisis de los datos de la variable de temperatura, se continuó con la interpretación de los datos correspondientes a la variable de humedad por parte del sensor RHT03 como lo indica la siguiente tabla, y se obtuvieron las gráficas expuestas en la figura 57:

Tabla 20. Hoja de trabajo del estudio r&R del sensor RHT03

	Partes	Operador	Medición
1	1,00	1	45,7
2	1,00	1	44,6
3	1,00	1	46
4	1,00	2	48,8
5	1,00	2	49,4
6	1,00	2	48,7
7	2,00	1	47,1
8	2,00	1	47,5
9	2,00	1	47,8
10	2,00	2	46,9
11	2,00	2	48
12	2,00	2	47,4
13	3,00	1	48,3
14	3,00	1	47,4
15	3,00	1	46,5
16	3,00	2	47,1
17	3,00	2	46,4
18	3,00	2	44,9
19	4,00	1	43,6
20	4,00	1	43
21	4,00	1	46,4
22	4,00	2	46
23	4,00	2	43,9
24	4,00	2	41,7
25	5,00	1	41,6
26	5,00	1	42,5
27	5,00	1	42,7
28	5,00	2	45,2
29	5,00	2	44,3
30	5,00	2	43



A partir de la información suministrada por el Anexo FF, y con base a los parámetros establecidos se puede corroborar a detalle la interpretación de los resultados de cada gráfica de la figura 57 en la siguiente descripción:

- **Componentes de la variación**

Es notorio observar que el componente de variación más grande es la variación parte a parte, lo que permite garantizar que la mayor parte de la variabilidad se encuentra en las partes. Es importante aclarar que para las medidas de %Var. Del estudio y %Tolerancia, las barras Repetir y Reproducibilidad (Reprod) no se suman al Estudio r&R del sistema de medición debido a que estos porcentajes están basados en desviaciones estándar, no en varianzas.

- **Gráfica R**

Se visualiza una marcada diferencia para cada operador, observando una leve variación en el rango. Además se puede observar que no existe ningún punto por encima del límite de control superior (LCS) para la gráfica R, lo que permite afirmar que el operador está midiendo las partes con uniformidad.

- **Gráfica  $\bar{X}$**

Se observa que la variación parte a parte es mucho más grande que la variación del dispositivo de medición.

- **Mediciones por parte**

La gráfica de la interacción Mediciones \* Partes muestra que los promedios varían significativamente. Esto debe ocurrir porque las partes elegidas para el estudio deben representar todo el rango de partes posibles.

- **Mediciones por operador**

Se puede apreciar la ausencia de valores atípicos, y que los operadores realizan mediciones uniformes, lo que garantiza mediciones similares.

- **Mediciones por parte**

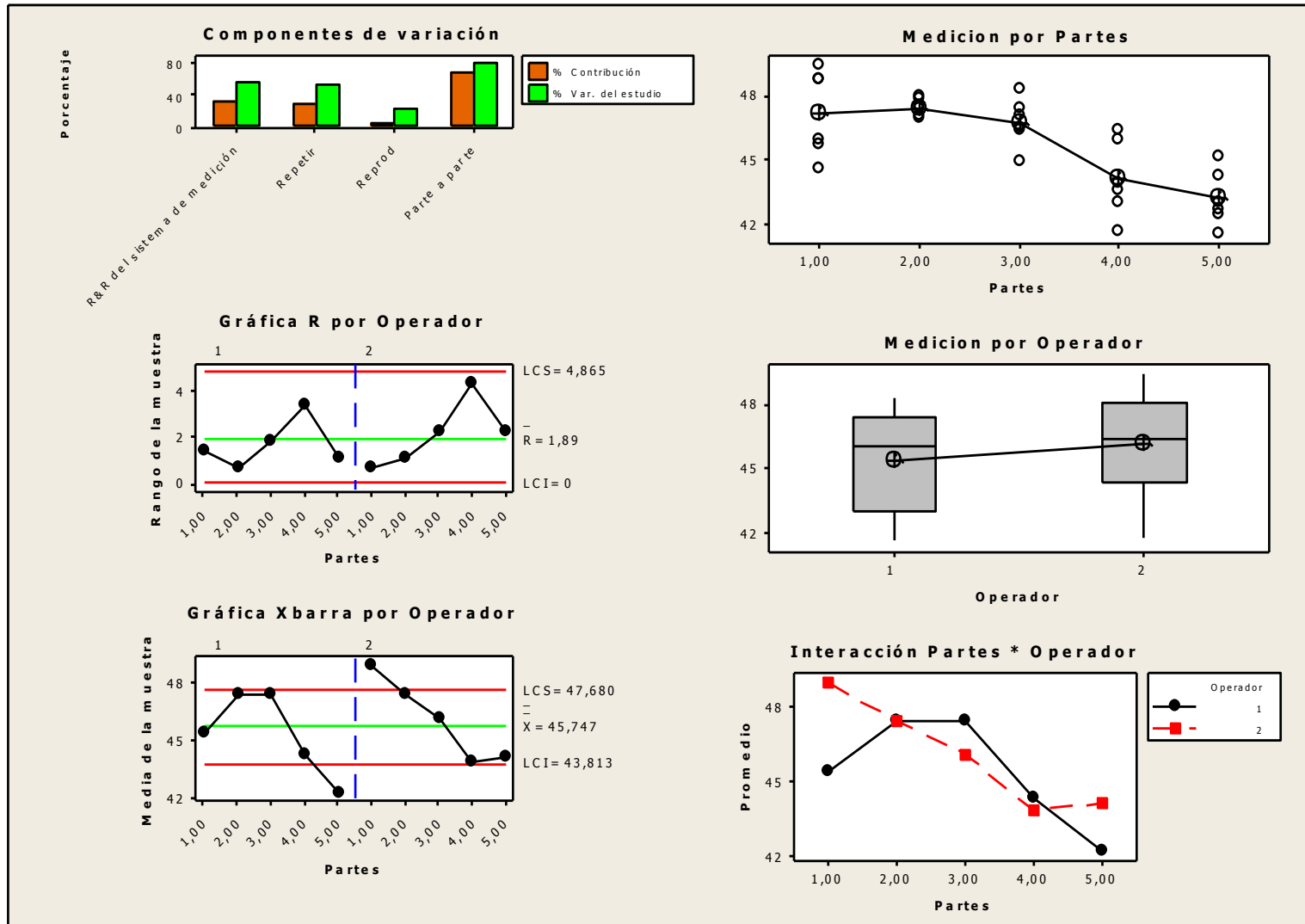
La gráfica Interacción Partes \* Operador muestra permite visualizar con suficiencia las diferencias entre las partes de cada medición.

Finalmente y de acuerdo a los criterios de selección del Grupo de acción de la industria automotriz (AIAG) [29] que indican que para aceptar un estudio se debe tener en cuenta los siguientes rangos de selección:

- $R \leq 10\%$  Apto
- $10\% < R \leq 30\%$  Apto con reservas
- $R > 30\%$  No apto

Para el caso expuesto de la caracterización de las variables de humedad basados en los Anexos FF se observa que el  $r\&R$  del sistema de medición total es del 7,0928% lo que permite que el sensor RHT03 sea apto para su implementación en la plataforma Open Forecast.

Figura 57. r&R del sistema de medición para las variables de humedad



## 10. CONCLUSIONES

El proceso de desarrollo de esta investigación abarca las necesidades de diseñar y elaborar un dispositivo electrónico de estación meteorológica que garantizase como características principales los bajos costes de adquisición y puesta en marcha, la facilidad de transporte e implementación, total compatibilidad con los sistemas de comunicación existentes, y por extensión con los módulos (shields) de los principales fabricantes en el mercado, libertad de sus licencias de hardware y software, y por supuesto la capacidad para extender sus funcionalidades tanto de ejecución como de medición, es decir, que permita incorporar a futuro otro tipo de variables meteorológicas.

Con base a esto se puede observar que el interés primordial de esta investigación es dar una completa caracterización tecnológica, conjunta al diseño, construcción y entrada en funcionamiento de la adquisición y análisis de datos para la medición de variables ambientales, de un sistema de monitorización basado en el uso de plataformas abiertas, debido a las grandes ventajas que puede proporcionar al sector tecnológico, empresarial y del país, así como al área de Ingeniería Electrónica que imparte la Universidad de la Costa – CUC, logrando brindar alternativas viables que contribuyan al desarrollo sostenible a la educación y al mejoramiento de la calidad de vida de las personas y entidades involucradas.

Por tal motivo, y a pesar del impedimento espacial y temporal de la ejecución del proyecto debido a las limitantes de área y administración expuestas a lo largo del trabajo, se puede argumentar la elaboración de un prototipo de alto rendimiento, quien cumple a cabalidad las características de una estación sinóptica suplementaria, al contar con tres sensores para la medición de las variables de temperatura, humedad y presión atmosférica (sensor TMP36, sensor RHT03, sensor BMP085, respectivamente). Este sistema denominado Open Forecast tiene un coste neto cercano a los \$150.000 pesos colombianos, con la ventaja de contar con elementos y dispositivos 100% libres tanto en su documentación, como en su software y hardware, garantizando que cualquier persona o ente interesado pueda mejorar el sistema implementado o migrarlo a las necesidades específicas del lugar o las zonas climáticas.

Cabe destacar la importancia del proceso estadístico en la toma de decisiones, que facilitaron la ejecución de un prototipo de notable calidad, precisión y estabilidad, gracias al diseño experimental ANOVA y el análisis r&R, desarrollados a través del software Minitab, una potente herramienta quien a pesar de ser software privativo, permitió su ejecución por un periodo de 30 días para realizar los estudios y cálculos necesarios.

Estos tipos de estudios a pesar de sus grandes ventajas son inusuales en el diseño de dispositivos electrónicos, por lo cual se incita a emplear con regularidad

su uso pues permiten caracterizar con gran precisión la selección y la validación de los sistemas implementados; puesto que como puede observarse en nuestro proyecto, inicialmente el prototipo a evaluar contaba con 6 sensores (2 sensores de temperatura ambiental, 2 sensores de humedad relativa y 2 sensores de presión atmosférica) con un coste total neto alrededor de los \$250.000 pesos colombianos, sin contar con las dificultades intrínsecas de los materiales y los conflictos para su elaboración a razón de incompatibilidades con las librerías entregadas por las fabricantes; pero posterior a la determinación de los principales factores del diseño y la ejecución de las mencionadas técnicas y estudios estadísticos, se logró reducir la variabilidad de respuesta, permitiendo un ahorro del 60% en costes y mejoras en el rendimiento y estabilidad del prototipo.

Por otra parte, al comparar la plataforma Open Forecast con la estación base (Vantage Pro2) implementada en la Universidad de la Costa, CUC, se pueden resaltar interesantes anotaciones.

Como primera instancia la diferencia en precios es notable, pues según el sitio Weathershack<sup>28</sup>, uno de los portales de ventas online más importantes de equipos meteorológicos del mundo, la estación meteorológica Vantage Pro2 tiene un precio que oscila entre los \$429.95 - \$535.95 dólares americanos, según la consulta realizada el día 1 de agosto de 2013, aunque es importante considerar que este sistema incluye funciones adicionales y variables de medición que la plataforma Open Forecast no posee. Otro importante anotación se deriva de la necesidad de hacer alguna supervisión, mantenimiento o reparación, pues al ser un sistema cerrado se impide su supervisión y reparación en caso de fallos. Pero quizás la más importante característica que se logra apreciar con este investigación es que la plataforma Open Forecast tiene la ventaja de poder expresar la cantidad de comas decimales que el sensor “electrónicamente” pueda proporcionar, es decir que a razón de poder ser manipulado por software permite visualizar como mínimo dos comas decimales de precisión, frente a una sola que presenta la estación meteorológica Vantage Pro2, lo que se traduce en mayor exactitud en la visualización de los datos.

Para finalizar es importante resaltar las ventajas que este tipo de sistemas de bajos costes brindan a la ciudadanía y los organismos involucrados, pues como indica la Carta de la Tierra de la ONU en su principio 10 permite que toda persona pueda tener acceso a la información sobre el medio ambiente, incluida la información sobre los materiales y las actividades que encierran peligro en sus comunidades, así como la oportunidad de participar en los procesos de adopción de decisiones, facilitando el sueño alcanzable de colocar la información al alcance de todos.

---

<sup>28</sup> Link oficial: [www.weathershack.com](http://www.weathershack.com)

## GLOSARIO

**Desempeño:** Variabilidad en lecturas tomadas sobre un largo periodo de tiempo.

**Estabilidad:** Variación total de las mediciones obtenidas con un sistema de medición, al medir una sola de sus características durante un periodo prologado de tiempo.

**Exactitud:** Capacidad de cercanía de un valor o resultado de una medida a la magnitud real.

**HUB:** Componente destinado a encadenar puertos de salida para otros dispositivos que pueden ser periféricos u otros hubs.

**Incertidumbre:** Rango estimado de valores alrededor del valor medido, en el cual se estima se encuentra el valor verdadero.

**Linealidad:** Diferencia en los valores real y observado, a través del rango de operación esperado del equipo.

**Observación sinóptica:** Conjunto de medidas meteorológicas realizadas a nivel de superficie a determinadas horas.

**Precipitaciones:** Formas de agua en estado líquido o sólido que caen directamente sobre la superficie terrestre. Este fenómeno incluye la lluvia, llovizna, llovizna helada, lluvia helada, granizo, hielo granulado, nieve, granizo menudo y bolillas de nieve.

**Precisión:** Capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes, realizadas en las mismas condiciones.

**Sesgo:** Diferencia entre el promedio observado de las mediciones y el valor verdadero.

**Supuestos:** Condiciones que deben existir para aplicar correctamente un procedimiento estadístico.

**Transductores:** Elementos que transforman una magnitud física en una señal eléctrica, con el fin de facilitar su medición.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana - NTC 1486 Sexta Actualización, ICONTEC, 2008.
- [2] F. Ackerman, El Caribe y el cambio climático: Los costos de la inacción, Stockholm: Global Development and Environment Institute: Tufts University Pres, 2008.
- [3] C. Ropelewski y M. Halper, «Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation,» *Monthly Weather Review*, 1987.
- [4] C. Ropelewski y M. Halper, «Quantifying Southern Oscillation – Precipitation Relationships,» *Journal of Climate*, 1996.
- [5] A. Weiss, L. Van Growder y M. Bernardi, «Transmisión de la información agrometeorológica,» *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial*, vol. XLVIII, nº 4, pp. 431-437, 1999.
- [6] G. Piñeres, Acercamiento tecnológico a la aparición de tornados en Barranquilla, Barranquilla: Educosta, 2010.
- [7] E. Gertz y D. J. Patrick, *Environmental Monitoring with Arduino*, Estados Unidos de América: O' Reilly Media, 2012.
- [8] Á. Mejía, «Caracterización de sistemas de comunicaciones para la medición de variables meteorológicas que permita estudiar los cambios climáticos en la región caribe,» Universidad de la Costa, Barranquilla, 2013.
- [9] C. Oliveira, «Environmental Monitoring Services and Wireless Sensor Networks applied on Urban Spaces,» de *Automation Quality and Testing Robotics (AQTR)*, Cluj-Napoca, Romania , 2010.
- [10] H. Fiel, «WeatherLan: Sensor de temperatura y humedad con Arduino,» Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, Andalucía, España, 2011.

- [11] D. Montgomery, Diseño y análisis de experimentos, Grupo Editorial Íbero Américas, 1991.
- [12] D. De la rosa, «Software Libre,» *CUCTRONICA*, vol. I, nº 2, pp. 5-6, 2013.
- [13] R. M. Stallman, «Free Software Free Society: Selected of Essays,» 2008.
- [14] D. E. De la rosa, «Hardware Libre,» *CUCTRONICA*, vol. I, nº 3, p. 5, 2013.
- [15] J. Ackermann, «Tucson Amateur Packet Radio,» 2009. [En línea]. Available: [http://www.tapr.org/Ackermann\\_Open\\_Source\\_Hardware\\_Article\\_2009.pdf](http://www.tapr.org/Ackermann_Open_Source_Hardware_Article_2009.pdf). [Último acceso: 14 Marzo 2013].
- [16] R. Sánchez, Controlador lógico programable: Una mirada interna, Barranquilla: Educosta, 2009.
- [17] EMB, «Plataformas de Desarrollo basadas en Microcontroladores,» *Electroindustria*, vol. XIII, nº 145, 2013.
- [18] I. Hakala, «Wireless Sensor Network in Environmental Monitoring - Case Foxhouse,» de *IEEE Computer Society - The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2008.
- [19] E. Martonne, Tratado de Geografía física, Barcelona: Juventud, 1964.
- [20] F. García, Manual de climatología aplicada, Madrid: Sintesis, 1995.
- [21] N. Sabogal, The Depletion of the Stratospheric Ozone Layer, 1985.
- [22] Davis Instruments Corporation, «Manual de la consola Vantage Pro2,» Hayward, California, 2008.
- [23] C. Paniagua, «Control de módem GSM desde microcontrolador,» Universidad Rovira i Virgili, Tarragona, España, 2008.
- [24] National Instruments, «Comunicación Serial: Conceptos Generales,» 6 Junio 2006. [En línea]. Available: <http://xurl.es/4ad4x>. [Último acceso: 7 Julio 2013].
- [25] E. Fidel y L. Lockúan, La industria textil y su control de calidad, 2012.
- [26] M. & M. Asociados, «Presión atmosférica, presión barométrica y altitud.



Conceptos y aplicaciones,» *La Guía Metas*, nº 2, p. 2, 2005.

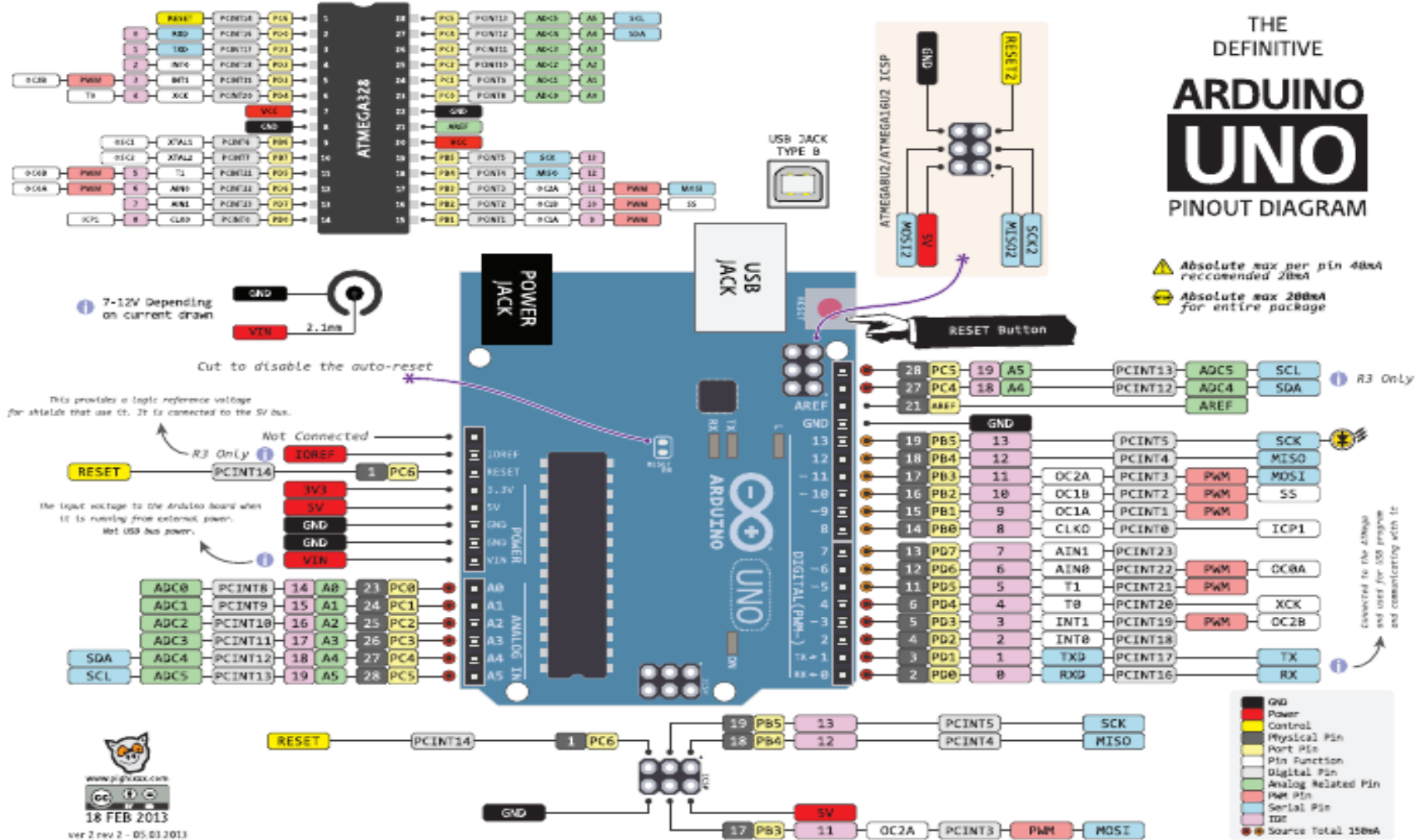
- [27] R. Velasco y B. Soriano, «Herramientas de la metrología en sistemas de calidad,» Metas, Jalisco, 2004.
- [28] VIM, « Conceptos fundamentales y generales y términos asociados,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.inti.gob.ar/patrones\\_nacionales/pdf/VIM\\_enespanol.pdf](http://www.inti.gob.ar/patrones_nacionales/pdf/VIM_enespanol.pdf). [Último acceso: 12 Julio 2013].
- [29] AIAG, «Automotive Industry Action Group,» 2008. [En línea]. Available: <http://xurl.es/nbfay>. [Último acceso: 13 Julio 2013].
- [30] M. Terradez y Á. Juan, Análisis de la varianza (ANOVA), Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya.
- [31] A. Pardo y M. Ruiz, SPSS: Guía para el análisis de datos, Madrid: McGraw-Hill, 2002.
- [32] L. González, Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2009.
- [33] J. Pabón, Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la Precipitación en Colombia, Bogotá: Meteorol, 2001.
- [34] ISO/IEC 17025, International Standard: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2005.
- [35] AIAG, «Automotive Industry Action Group,» 2008. [En línea]. Available: <http://files.instrument.com.cn/FilesCenter/20080819/200881916224076263.pdf>. [Último acceso: 13 Julio 2013].

# ANEXOS

Durante el desarrollo de la investigación, se realizaron diversas pruebas y montajes con la plataforma de desarrollo *Open Forecast*, así como con la estación Meteorológica Vantage Pro2, y posteriormente con el Termohigrómetro Digital Taylor como sistema final de calibración, para documentar el proceso del manejo de datos y variables ambientales. Dicha documentación fue justificada a partir de una serie de experimentos diseñados para otorgar una validez científica al desarrollo del diseño electrónico.

De esta manera en los anexos siguientes, se incluyen las memorias respectivas de cada prueba o experimento, así como los diagramas, documentos y códigos necesarios para su ejecución. Cabe destacar que todo este trabajo ha sido registrada en el sitio web: <https://sites.google.com/site/opforecast/>, diseñado con el fin de plasmar y dejar constancia del trabajo realizado.

## ANEXO A. Diagramas de Pines Plataforma Arduino



ANEXO B. Pantallazo sitio web diseñado para el proyecto.



Link Oficial: <https://sites.google.com/site/opforecast/>

ANEXO C. Logo oficial Proyecto Open Forecast




ANEXO D. Instrumento Certificado - Termohigrómetro Taylor



ANEXO E. Vista sello certificación - Termohigrómetro Taylor



## ANEXO F. Certificado de calibración - Termohigrómetro Digital Taylor

  
Investigaciones Metrológicas del Caribe S.A.  
NIT. 802.013.459-2

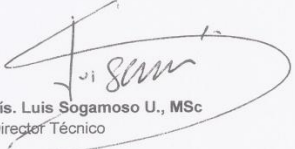
Código: F MC CHR  
Fecha: 2011-10-25  
Versión: 00

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN / Certificate of Calibration**  
**No. C403-13**

Página 1 de 3

**LABORATORIO DE HUMEDAD / HUMIDITY LABORATORY**

SOLICITANTE <i>Customer</i>	:	BIOMELAB
DIRECCIÓN <i>Customer Address</i>	:	Cra 59 N° 72 - 115, Barranquilla / Atlantico
INSTRUMENTO <i>Instrument</i>	:	Termohigrómetro Digital
UBICACIÓN <i>Location</i>	:	-
CÓDIGO <i>Code</i>	:	023BL10
FABRICANTE <i>Manufacturer</i>	:	TAYLOR
MODELO <i>Model</i>	:	1523
NÚMERO DE SERIE <i>Serial Number</i>	:	-
RANGO DE MEDICIÓN <i>Measuring Range</i>	:	(20 %HR a 90 %HR) y (-10 °C a 60 °C)
DIVISIÓN DE ESCALA <i>Scale Division</i>	:	1 %HR y 0,1 °C
FECHA DE RECEPCIÓN <i>Date Received</i>	:	2013-02-01
FECHA DE CALIBRACIÓN <i>Date Calibration</i>	:	2013-02-04


Autorizado Por:  
Authorized By:   
Fis. Luis Sogamoso U., MSc  
Director Técnico

Este certificado sólo debe ser reproducido en forma total o parcial con aprobación escrita de Metrocaribe S.A.  
Los resultados son válidos para el momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

*This certificate may only be reproduced in whole or in part with written approval from Metrocaribe S.A.  
The results are valid for the time and conditions under which measurements were made.*

Calle 64 No. 47-102 • Tel.: (57-5) 369 32 15 - 349 45 45 • 349 94 83  
E-mail: gerencia@metrocaribelab.com • Barranquilla - Colombia

METROCARIBE es Marca Registrada de Metrocaribe S.A. Resolución S.I.C. 14598 DE 24 DE JUNIO DE 2005





## ANEXO G. Informe de calibración - Termohigrómetro Digital



### INFORME DE CALIBRACIÓN No. C124-11

Página 1 de 1

#### 1. IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO

SOLICITANTE : BIOMELAB LTDA  
DIRECCIÓN : kra 59 N° 72 - 115 Barranquilla - Atlántico  
INSTRUMENTO : Termohigrómetro Digital  
CÓDIGO : 023BL10  
UBICACIÓN : -  
FABRICANTE : TAYLOR  
MODELO : -  
SERIE : -  
RANGO DE MEDICIÓN : ( 20 %HR a 99 %HR ) - ( -50 °C a 70 °C )  
RESOLUCIÓN : 1 %HR - 0,1 °C  
FECHA RECEPCIÓN : 2011-01-25  
FECHA CALIBRACIÓN : 2011-01-27



#### 2. PATRONES, TRAZABILIDAD Y MÉTODO UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN

Termómetros Digitales, TP MC 01 y TP MC 02 trazables a los patrones de referencia de S.I.C., mediante los certificados 30284 y 30285, emitidos por ICONTEC, Termohigrómetro patrón, TH MC 01 trazable a los patrones de referencia de S.I.C. mediante el certificado CMK-THR-10007, emitido por COLMETRIK LTDA, empleando el método de comparación directa, comparando con la indicación del instrumento de prueba, según procedimiento POE-HR.

Temperatura Ambiente : 23,8 °C

Humedad Relativa : 51 %

#### 3. RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN

Unidad	Indicación Promedio	Patrón Corregido	Corrección	Incertidumbre	Factor de Cobertura
%HR	36,8	35,0	-1,8	0,8	2,09
	51,3	50,0	-1,3	0,8	2,09
	65,3	65,0	-0,3	0,8	2,09
° C	23,875	24,711	0,836	0,064	1,96
	26,575	26,881	0,306	0,064	1,96
	28,625	28,867	0,242	0,064	1,96

De acuerdo con los cálculos realizados, el instrumento **NO CUMPLE** con los errores máximos permitidos establecidos por el fabricante, que es de  $\pm 4\%HR$  y  $\pm 1^\circ C$  respectivamente.

#### 4. INCERTIDUMBRE DE CALIBRACIÓN

La incertidumbre expandida y el factor de cobertura  $k$ , se muestran en la tabla anterior, con nivel de confianza 95 %  
Las fuentes aportantes son: Termohigrómetro Patrón, Termómetro Patrón, Inhomogeneidad, Resolución y Repetibilidad del mensurado.

#### 5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

El instrumento es apto para mediciones de temperatura en sus dos modalidades (IN/OUT).  
Al valor indicado, se le debe hacer la corrección correspondiente.  
Se ha colocado una calcomanía AMARILLA, indicando que debe usarse con PRECAUCIÓN.  
La incertidumbre se expresa según lineamientos de la GTC 51:1997.  
Los resultados son válidos para el momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.  
Este informe cumple con los lineamientos de ISO 17025:2005.  
Este informe sólo debe ser reproducido en forma total y con aprobación escrita de Metrocaribe.  
Metrocaribe S. A., no se responsabiliza del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Elaboró: *Ther...*  
Ml. Edier Martínez V  
Metrologo Industrial

Revisó: *Luis...*  
Fís. Luis Segamoso U.  
Director Técnico


FIN DEL INFORME

Calle 64 No. 47-102 • Tel.: (57-5) 369 32 15 - 349 45 45 • 349 94 83  
E-mail: metrocaribe@gmail.com - gerencia@metrocaribelab.com • www.metrocaribe.com  
Barranquilla - Colombia

METROCARIBE® es Marca Registrada de Metrocaribe S.A. Resolución S.I.C. 14598 DE 24 DE JUNIO DE 2005



ANEXO H. Certificado de calibración Página 1 de 3 - Termohigrómetro Digital

  
**METROCARIBE**<sup>®</sup>  
Investigaciones Metrológicas del Caribe S.A.  
NIT. 802.013.459-2

Código: F MC CHR  
Fecha: 2011-10-25  
Versión: 00

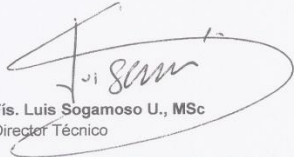
**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN / Certificate of Calibration**  
**No. C403-13**

Página 1 de 3

**LABORATORIO DE HUMEDAD / HUMIDITY LABORATORY**

SOLICITANTE <i>Customer</i>	:	BIOMELAB
DIRECCIÓN <i>Customer Address</i>	:	Cra 59 N° 72 - 115, Barranquilla / Atlántico
INSTRUMENTO <i>Instrument</i>	:	Termohigrómetro Digital
UBICACIÓN <i>Location</i>	:	-
CÓDIGO <i>Code</i>	:	023BL10
FABRICANTE <i>Manufacturer</i>	:	TAYLOR
MODELO <i>Model</i>	:	1523
NÚMERO DE SERIE <i>Serial Number</i>	:	-
RANGO DE MEDICIÓN <i>Measuring Range</i>	:	(20 %HR a 90 %HR) y (-10 °C a 60 °C)
DIVISIÓN DE ESCALA <i>Scale Division</i>	:	1 %HR y 0,1 °C
FECHA DE RECEPCIÓN <i>Date Received</i>	:	2013-02-01
FECHA DE CALIBRACIÓN <i>Date Calibration</i>	:	2013-02-04

Autorizado Por:  
Authorized By:


  
**Fis. Luis Sogamoso U., MSc**  
Director Técnico

Este certificado sólo debe ser reproducido en forma total o parcial con aprobación escrita de Metrocaribe S.A.  
Los resultados son válidos para el momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.


*This certificate may only be reproduced in whole or in part with written approval from Metrocaribe S.A.  
The results are valid for the time and conditions under which measurements were made.*

Calle 64 No. 47-102 • Tel.: (57-5) 369 32 15 - 349 45 45 • 349 94 83  
E-mail: gerencia@metrocaribelab.com • Barranquilla - Colombia

METROCARIBE es Marca Registrada de Metrocaribe S.A. Resolución S.I.C. 14598 DE 24 DE JUNIO DE 2005



## ANEXO I. Certificado de calibración Página 2 de 3 - Termohigrómetro Digital



**METROCARIBE**<sup>®</sup>  
Investigaciones Metrológicas del Caribe S.A.  
NIT. 802.013.459-2

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN / Certificate of Calibration**  
**No. C403-13**

Página 2 de 3

**1. PATRONES UTILIZADOS, TRAZABILIDAD Y MÉTODO DE CALIBRACIÓN**  
**STANDARDS IN USE, TRACEABILITY AND METHOD OF CALIBRATION**

Termohigrómetro Patrón Data Logger, TH MC 01 trazable a los patrones de referencia de S.I.C. mediante el certificado 1080 ZN y 1089 ZN, emitido por SIGMA, empleando el método de comparación directa, comparando la indicación del instrumento de prueba con el patrón de referencia, según procedimiento POE-HR.

*Thermohygrometer Standards Data Logger, TH MC 01 traceable to reference standards S.I.C. by certificate 1080 ZN y 1089 ZN, issued SIGMA, using the direct comparison method by comparing the instrument reading and the test standard, as POE-HR.*

Temperatura	:	Inicial	23,7 °C	Humedad	:	Inicial	45 %HR
Ambiente	:	Final	23,9 °C	Relativa	:	Final	49 %HR

**2. EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN**  
**EVALUATION OF THE CALIBRATION**

De acuerdo con los cálculos realizados, el instrumento CUMPLE con los errores máximos permitidos establecidos por el fabricante que es de  $\pm 5\% \text{HR}$  y  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

*According to estimates, the instrument MEETS with permissible error laid down by the manufacturer that is  $\pm 5\% \text{HR}$  and  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$*

**3. INCERTIDUMBRE DE LA CALIBRACIÓN**  
**UNCERTAINTY OF CALIBRATION**

La incertidumbre expandida y el factor de cobertura  $k$ , se muestran en la tabla de resultados de la página 3, con nivel de confianza del 95 %.

Las fuentes aportantes son: Termómetro Patrón, Inhomogeneidad, Resolución y Repetibilidad del mensurado.

*The expanded uncertainty and coverage factor  $k$  are shown in the results table on page 3, with a confidence level of 95%. Sources contributors are standard thermometer, inhomogeneities, resolution and repeatability measured.*

**4. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES**  
**RECOMMENDATIONS AND COMMENTS**

Se ha colocado una calcomanía VERDE, indicando que está APTO para su utilización.

La incertidumbre se expresa según lineamientos de GTC 51:1997.

Este informe cumple con los lineamientos de ISO 17025:2005.

Metrocaribe S. A., no es responsable del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

*Placed a green sticker, which indicates that it is fit for use.*


*The uncertainty is expressed as GTC guidelines 51:1997.*

*This report complies with the guidelines of ISO 17025:2005.*

*Metrocaribe S. A. is not responsible for improper use of calibrated instruments.*

Calle 64 No. 47-102 • Tel.: (57-5) 369 32 15 - 349 45 45 • 349 94 83  
E-mail: gerencia@metrocaribelab.com • Barranquilla - Colombia

METROCARIBE es Marca Registrada de Metrocaribe S.A. Resolución S.I.C. 14598 DE 24 DE JUNIO DE 2005





**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN / Certificate of Calibration**  
**No. C403-13**

Página 3 de 3

**5. TABLA DE RESULTADOS**  
**TABLE OF RESULTS**

	* Indicación Promedio	Patrón Corregido	Corrección	Incertidumbre	Factor de Cobertura
%HR	51,3	49,4	-1,8	1,0	2,02
	62,3	59,7	-2,6	1,0	2,02
	72,3	69,1	-3,1	1,0	2,02
°C (IN)	19,6	20,2	0,6	0,1	1,98
	24,5	25,2	0,6	0,1	1,98
	29,8	30,1	0,3	0,1	1,98
°C (OUT)	-0,2	0,0	0,2	0,1	1,98
	9,6	10,3	0,7	0,1	1,98
	14,5	15,3	0,8	0,1	1,98

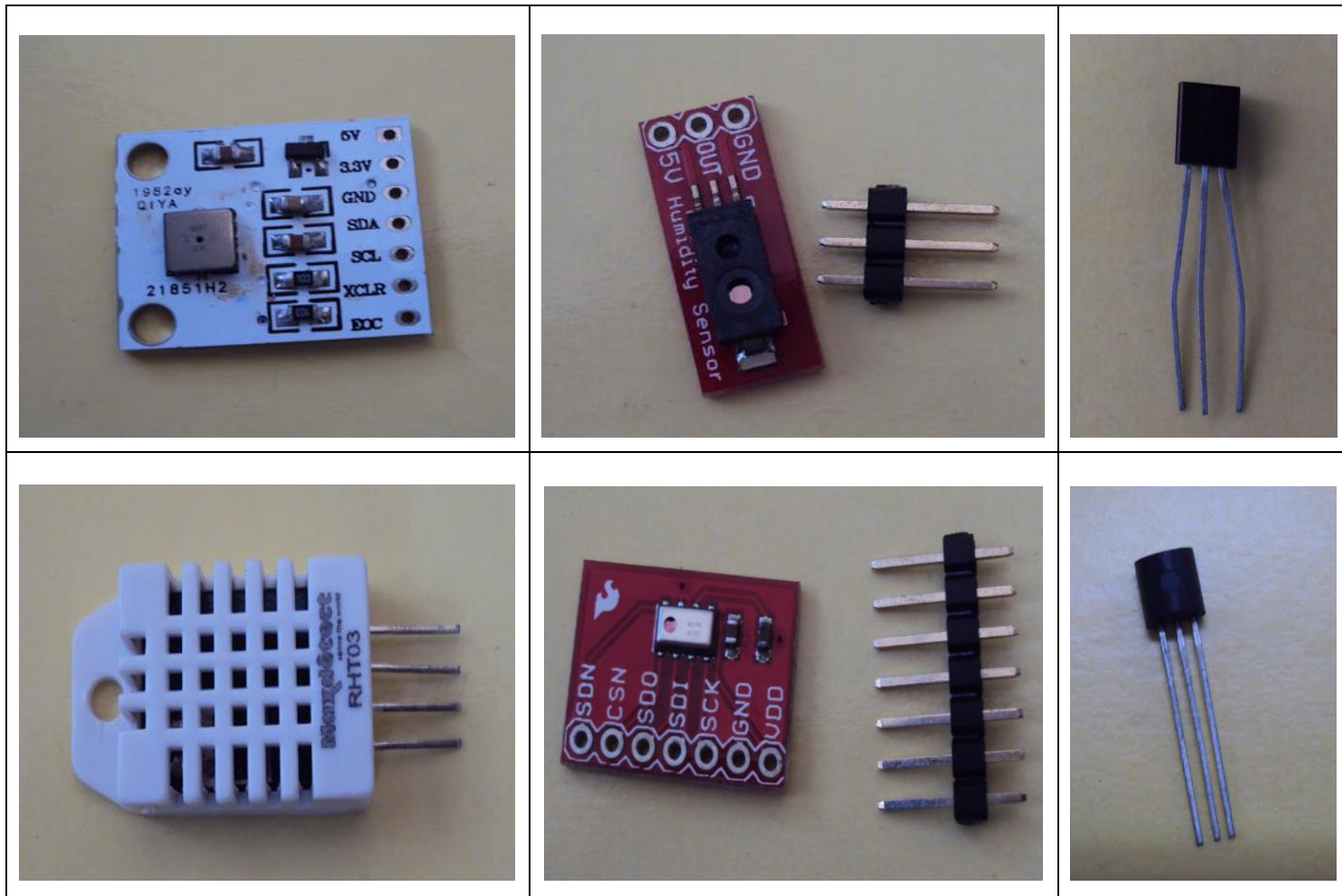
\* La indicación promedio es el resultado de 4 datos tomados en el mismo rango.

FIN DEL CERTIFICADO / END OF CERTIFICATE

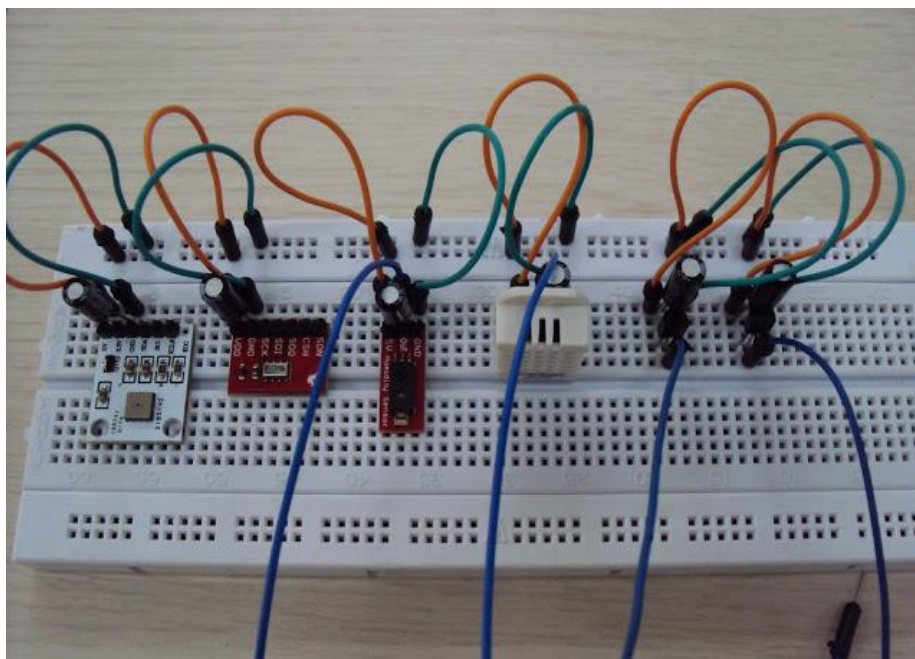




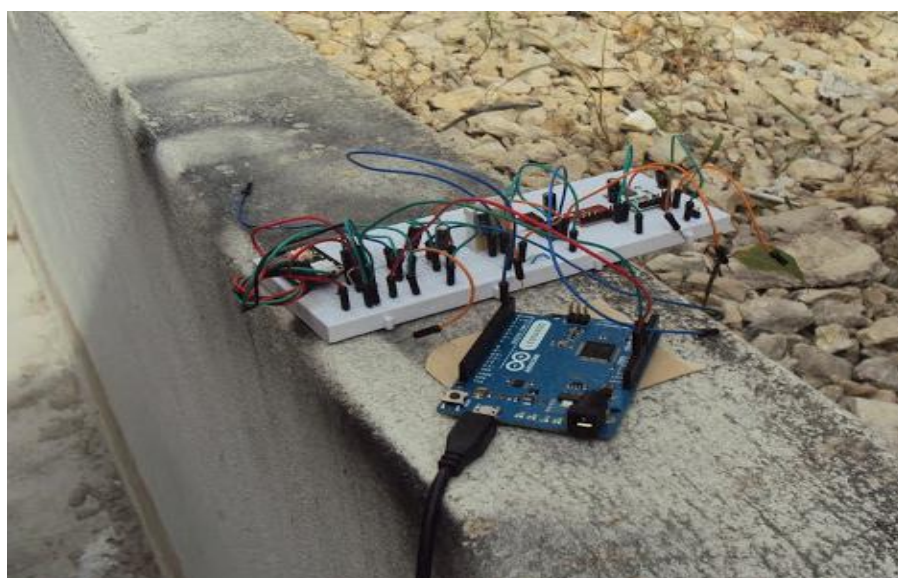
ANEXO K. Sensores: Arriba de izquierda a derecha: BMP085, HIH-4030 y TMP36. Abajo: RTH03, MPL115A1 y MCP9700



ANEXO L. I Etapa de muestras - Prototipo v0.1 Protoboard



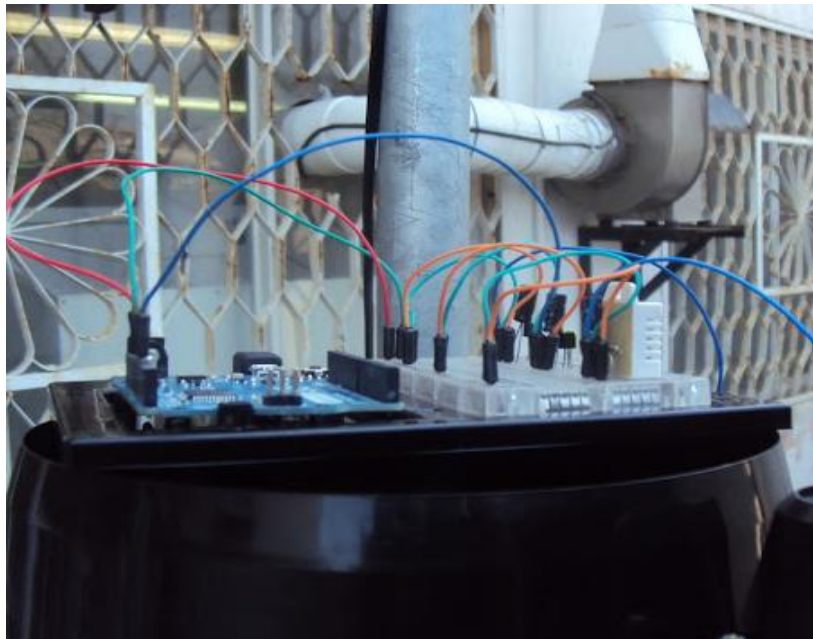
ANEXO M. I Etapa de muestras - Prototipo v0.1 Vista del Terreno



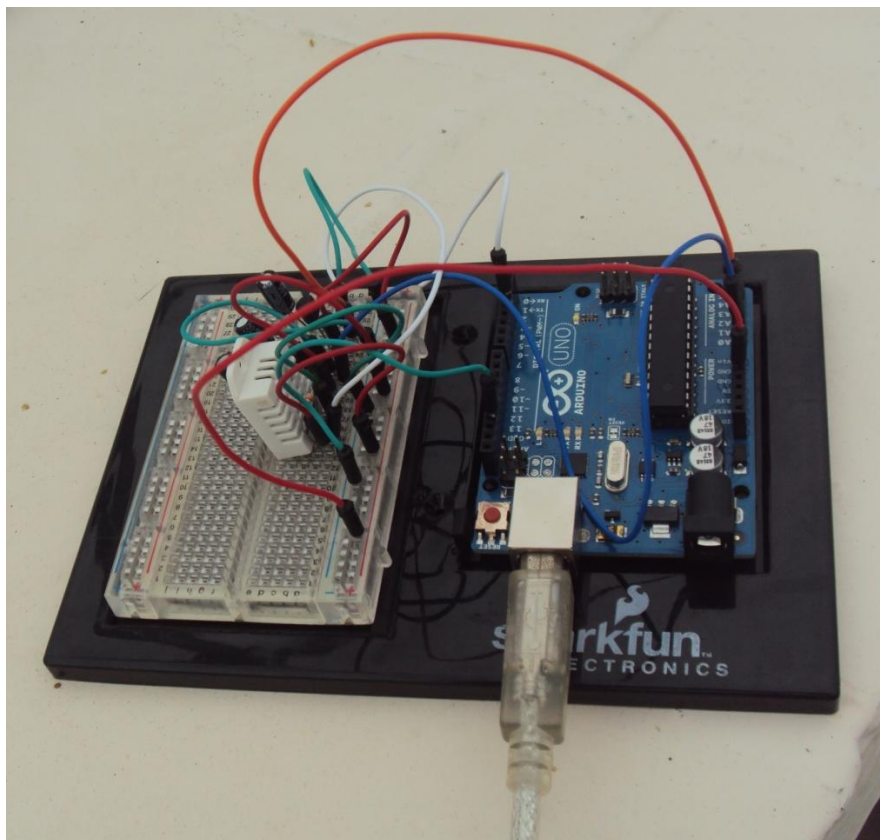
ANEXO N. Primera etapa de muestras - Prototipo v0.1 vs Vantage Pro2



ANEXO O. Primera etapa de muestras - Prototipo v0.1 vs Vantage Pro2 Zoom



## ANEXO P. Segunda etapa de muestras - Prototipo v0.2





ANEXO Q. Segunda etapa de muestras - Vista Instalaciones



ANEXO R. Segunda etapa de muestras - Vista General Instalaciones



ANEXO S. Segunda etapa de muestras - Vista 30° Instalaciones



ANEXO T. Segunda etapa de muestras - Vista 60° Instalaciones



ANEXO U. Segunda etapa de muestras - Vista 90° Instalaciones





ANEXO V. Segunda etapa de muestras - Vista 120° Instalaciones



ANEXO W. Segunda etapa de muestras - Vista 150° Instalaciones



## ANEXO X. Código Plataforma Open Forecast

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include "DHT.h"

Adafruit_BMP085 bmp = Adafruit_BMP085(10085);

#define DHTPIN 2 //Pin Digital Sensor RTH03
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int temperaturePin = 0; //Pin Analog Sensor TMP36

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  delay(1000);
  dht.begin();
}

void loop(){

  sensors_event_t event;
  bmp.getEvent(&event);

  Serial.print("Presion hPa= ");
  Serial.println(event.pressure*431);

  float h = dht.readHumidity();

  Serial.print("Humedad Relativa %= ");
  Serial.println(h);

  float temperature = getVoltage(temperaturePin);
  temperature = (temperature - .5) * 100;

  Serial.print("Temperatura *C= ");
  Serial.println(temperature);

  delay(2000);

}

float getVoltage(int temperaturePin){
  return (analogRead(temperaturePin) * .004882814); //converting from a 0 to 1023
  digital range to 0 to 5 volts (each 1 reading equals ~ 5 millivolts)
}
```



## ANEXO Y. Código Librería Sensor RHT03

```
#ifndef DHT_H
#define DHT_H
#if ARDUINO >= 100
  #include "Arduino.h"
#else
  #include "WProgram.h"
#endif

/* DHT library

MIT license
*/

// how many timing transitions we need to keep track of. 2 * number bits + extra
#define MAXTIMINGS 85

#define DHT11 11
#define DHT22 22
#define DHT21 21
#define AM2301 21

class DHT {
private:
  uint8_t data[6];
  uint8_t _pin, _type;
  boolean read(void);
  unsigned long _lastreadtime;
  boolean firstreading;

public:
  DHT(uint8_t pin, uint8_t type);
  void begin(void);
  float readTemperature(bool S=false);
  float convertCtoF(float);
  float readHumidity(void);
};
#endif
```

## ANEXO Z. Código Librería Sensor BMP085

```

#ifndef BMP085_h
#define BMP085_h

#if defined(ARDUINO) && ARDUINO >= 100
#include "Arduino.h"
#else
#include "WProgram.h"
#endif

#define BMP085_ADDR          0x77      //0x77 default I2C address
#define BUFFER_SIZE          3

#define AUTO_UPDATE_TEMPERATURE true    //default is true
// when true, temperature is measured everytime pressure is measured
(Auto).
// when false, user chooses when to measure temperature (just call
calcTrueTemperature()).
// used for dynamic measurement to increase sample rate (see BMP085
modes below).

/* ---- Registers ---- */
#define CAL_AC1              0xAA // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_AC2              0xAC // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_AC3              0xAE // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_AC4              0xB0 // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_AC5              0xB2 // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_AC6              0xB4 // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_B1               0xB6 // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_B2               0xB8 // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_MB               0xBA // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_MC               0xBC // R   Calibration data (16 bits)
#define CAL_MD               0xBE // R   Calibration data (16 bits)
#define CONTROL              0xF4 // W   Control register
#define CONTROL_OUTPUT       0xF6 // R   Output registers 0xF6=MSB, 0xF7=LSB,
0xF8=XLSB

// unused registers
#define SOFTRESET             0xE0
#define VERSION              0xD1 // ML_VERSION pos=0 len=4 msk=0F AL_VERSION
pos=4 len=4 msk=f0
#define CHIPID               0xD0 // pos=0 mask=FF len=8
// BMP085_CHIP_ID=0x55

/*****
/*   REGISTERS PARAMETERS   */
*****/
// BMP085 Modes
#define MODE_ULTRA_LOW_POWER 0 //oversampling=0, internalsamples=1,
maxconvtimepressure=4.5ms, avgcurrent=3uA, RMSnoise_hPA=0.06, RMSnoise_m=0.5

```

```

#define MODE_STANDARD          1 //oversampling=1, internalsamples=2,
maxconvtimepressure=7.5ms, avgcurrent=5uA, RMSnoise_hPA=0.05, RMSnoise_m=0.4
#define MODE_HIGHRES          2 //oversampling=2, internalsamples=4,
maxconvtimepressure=13.5ms, avgcurrent=7uA, RMSnoise_hPA=0.04, RMSnoise_m=0.3
#define MODE_ULTRA_HIGHRES     3 //oversampling=3, internalsamples=8,
maxconvtimepressure=25.5ms, avgcurrent=12uA, RMSnoise_hPA=0.03, RMSnoise_m=0.25
    // "Sampling rate can be increased to 128 samples per second
    (standard mode) for
        // dynamic measurement. In this case it is sufficient to
    measure temperature only
        // once per second and to use this value for all pressure
    measurements during period."
        // (from BMP085 datasheet Rev1.2 page 10).
        // To use dynamic measurement set AUTO_UPDATE_TEMPERATURE to
    false and
        // call calcTrueTemperature() from your code.
    // Control register
#define READ_TEMPERATURE      0x2E
#define READ_PRESSURE         0x34
//Other
#define MSLP                  101325          // Mean Sea Level Pressure =
1013.25 hPa (1hPa = 100Pa = 1mbar)

class BMP085 {
public:
    BMP085();

    // BMP initialization
    void init(); // sets current
    elevation above ground level to 0 meters
    void init(byte _BMPMode, int32_t _initVal, bool _centimeters); // sets a
    reference datum
    // if
    _centimeters=false _initVal is Pa
    // Who Am I
    byte getDevAddr();

    // BMP mode
    byte getMode();
    void setMode(byte _BMPMode); // BMP085 mode
    // initialization
    void setLocalPressure(int32_t _Pa); // set known barometric
    pressure as reference Ex. QNH
    void setLocalAbsAlt(int32_t _centimeters); // set known altitude as
    reference
    void setAltOffset(int32_t _centimeters); // altitude offset
    void setPaOffset(int32_t _Pa); // pressure offset
    void zeroCal(int32_t _Pa, int32_t _centimeters); // zero Calibrate output to a
    specific Pa/altitude
    // BMP Sensors
    void getPressure(int32_t *_Pa); // pressure in Pa + offset

```

```

    void getAltitude(int32_t *_centimeters);          // altitude in centimeters +
offset
    void getTemperature(int32_t *_Temperature);       // temperature in C°
    void calcTrueTemperature();                       // calc temperature data b5
(only needed if AUTO_UPDATE_TEMPERATURE is false)
    void calcTruePressure(long *_TruePressure);      // calc Pressure in Pa
    // dummy stuff
    void dumpCalData();                              // debug only

    void writemem(uint8_t _addr, uint8_t _val);
    void readmem(uint8_t _addr, uint8_t _nbytes, uint8_t __buff[]);

private:

    int ac1,ac2,ac3,b1,b2,mb,mc,md;                  // cal data
    unsigned int ac4,ac5,ac6;                        // cal data
    long b5, oldEMA;                                // temperature data

    uint8_t _dev_address;
    byte _buff[BUFFER_SIZE];                        // buffer  MSB LSB XLSB
    int _oss;                                         // OverSamplingSetting
    int _pressure_waittime[4];                      // Max. Conversion Time Pressure
is ms for each mode

    int32_t _cm_Offset, _Pa_Offset;
    int32_t _param_datum, _param_centimeters;

    void getCalData();

};

#endif

```

## ANEXO AA. ANOVA unidireccional sensores temperatura

### ANOVA unidireccional: RHT03-TMP36-MCP9700

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	21,122	10,561	68,88	0,000
Error	12	1,840	0,153		
Total	14	22,962			

S = 0,3916    R-cuad. = 91,99%    R-cuad.(ajustado) = 90,65%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-	
RHT03	5	3,2967	0,2475	(---*---)	
TMP36	5	0,5348	0,5920	(--*---)	
MCP9700	5	1,1310	0,2196	(--*---)	
				-----+-----+-----+-----+-	
				1,0	2,0    3,0    4,0

Desv.Est. agrupada = 0,3916

Agrupar información utilizando el método de Fisher

	N	Media	Agrupación
RHT03	5	3,2967	A
MCP9700	5	1,1310	B
TMP36	5	0,5348	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza individuales de Fisher del 95%  
Todas las comparaciones en parejas

Nivel de confianza simultánea = 88,44%

Se restó RHT03 a:

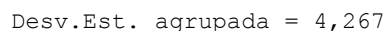
	Inferior	Centro	Superior	-----+-----+-----+-----+-
TMP36	-3,3014	-2,7619	-2,2223	(---*---)
MCP9700	-2,7052	-2,1657	-1,6261	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+-
				-2,4    -1,2    0,0    1,2

Se restó TMP36 a:

	Inferior	Centro	Superior	-----+-----+-----+-----+-
MCP9700	0,0566	0,5962	1,1358	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+-
				-2,4    -1,2    0,0    1,2

### ANOVA unidireccional: HIH4030-RHT03

$S = 4,267$        $R\text{-cuad.} = 93,37\%$        $R\text{-cuad. (ajustado)} = 92,55\%$

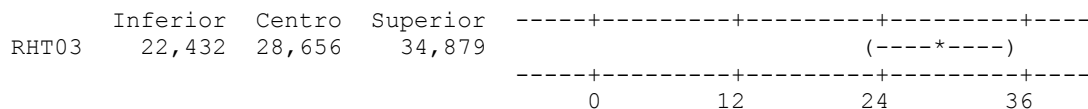


	N	Media	Agrupación
RHT03	5	-4,520	A
HIH4030	5	-33,176	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nivel de confianza simultánea = 95,00%

Se restó HIH4030 a:



## ANEXO CC. Estadísticas descriptivas sensores de humedad

### Estadísticas descriptivas: RHT03-TMP36- MCP9700

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Suma de cuadrados
RHT03	5	0	3,297	0,111	0,248	0,061	7,51	54,585
TMP36	5	0	0,535	0,265	0,592	0,350	110,70	2,832
MCP9700	5	0	1,1310	0,0982	0,2196	0,0482	19,42	6,5888

Variable	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
RHT03	3,050	3,055	3,350	3,512	3,640
TMP36	-0,095	-0,088	0,795	1,028	1,217
MCP9700	0,8950	0,9367	1,1217	1,3300	1,4617

## ANEXO DD. Estadísticas descriptivas sensores de temperatura

### Estadísticas descriptivas: HIH4030-RHT03

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
HIH4030	5	0	-33,18	2,50	5,58	-40,14	-38,94	-31,68	-28,16
RHT03	5	0	-4,52	1,03	2,30	-7,12	-7,01	-3,40	-2,59

Variable	Máximo
HIH4030	-26,99
RHT03	-2,55

## ANEXO EE. Estudio del sistema de medición para el sensor TMP36

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	0,390625	45,15
Repetibilidad	0,390625	45,15
Reproducibilidad	0,000000	0,00
Parte a parte	0,474506	54,85
Variación total	0,865131	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (6 * DE)
R&R del sistema de medición total	0,625000	3,75000
Repetibilidad	0,625000	3,75000
Reproducibilidad	0,000000	0,00000
Parte a parte	0,688844	4,13306
Variación total	0,930124	5,58075

Fuente	%Var. del estudio (%VE)
R&R del sistema de medición total	67,20
Repetibilidad	67,20
Reproducibilidad	0,00
Parte a parte	74,06
Variación total	100,00

Número de categorías distintas = 1

## ANEXO FF. Estudio del sistema de medición para el sensor RHT03

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	1,39745	32,41
Repetibilidad	1,20744	28,01
Reproducibilidad	0,19000	4,41
Parte a parte	2,91381	67,59
Variación total	4,31126	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (6 * DE)
R&R del sistema de medición total	1,18214	7,0928
Repetibilidad	1,09884	6,5930
Reproducibilidad	0,43589	2,6154
Parte a parte	1,70699	10,2419
Variación total	2,07636	12,4581

Fuente	%Var. del estudio (%VE)
R&R del sistema de medición total	56,93
Repetibilidad	52,92
Reproducibilidad	20,99
Parte a parte	82,21
Variación total	100,00

Número de categorías distintas = 2